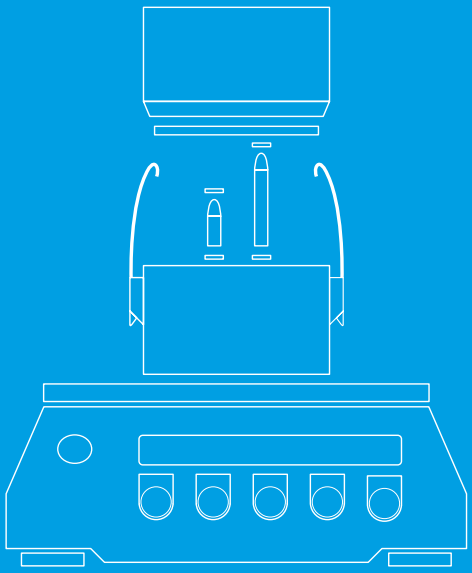
Bedienungsanleitung

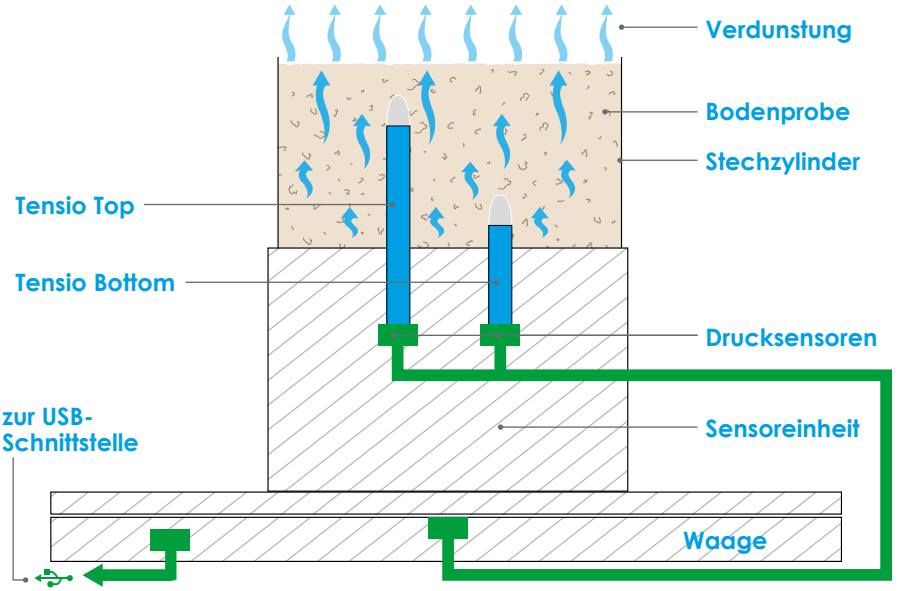
HYPROP

Diese Bedienungsanleitung können Sie in Deutsch
als pdf unter **www.ums-muc.de** downloaden.



UMS

Funktionsprinzip auf einen Blick



Legende

Wasser	Elektronik	Boden	
Wasserdampf	Keramik	alle anderen Teile	Objekt im Querschnitt

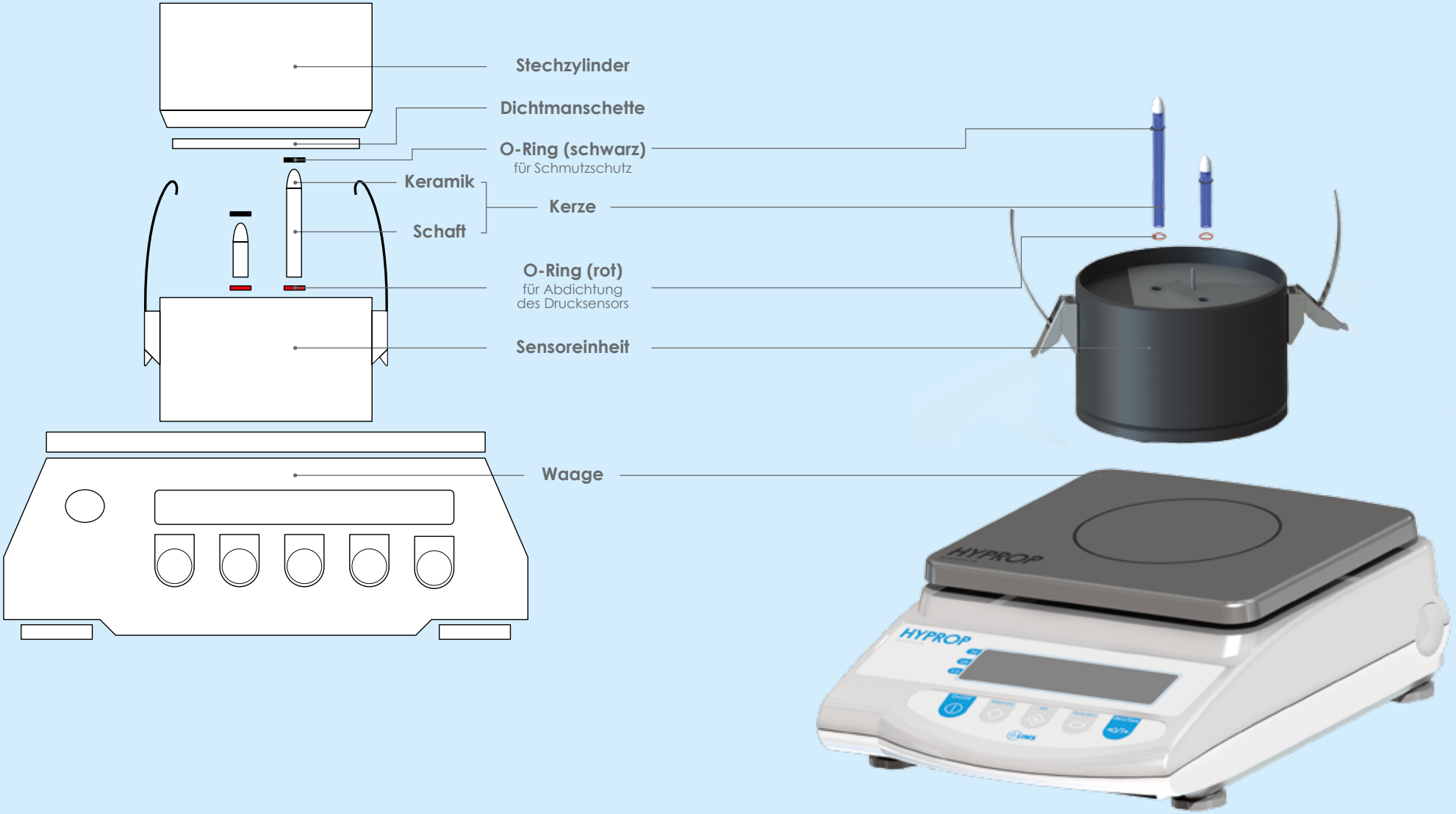
HYPROP® ist ein automatisiertes Mess- und Auswertungssystem zur Bestimmung hydraulischer Eigenschaften von Bodenproben. HYPROP misst in zwei Ebenen in einer Bodenprobe mit zwei Kerzen die Bodenwasserspannung (Tension). Aus dem Gewichtsverlust wird der Wassergehalt für die pF-WG-Kurve bestimmt. Wie gut die Probe Wasser leitet, ermittelt das HYPROP daraus, wie gut der Boden Wasser nach oben zum Verdunsten leiten kann. Bei schlechter Leitfähigkeit trocknet der Boden oben aus, während er unten noch nass ist. Die obere Kerze misst also viel trockenere Tensionen als die untere Kerze, die noch nass ist. Bei guter Leitfähigkeit wird Wasser aus der gesamten Probe verdunstet, und beide Tensionen sind fast gleich.

Diese Verfahrensweise beruht auf der Methode von Schindler. Weitergehende Informationen finden Sie im Kapitel Theoretische Grundlagen.

Bestandteile des Geräts und Lieferumfang

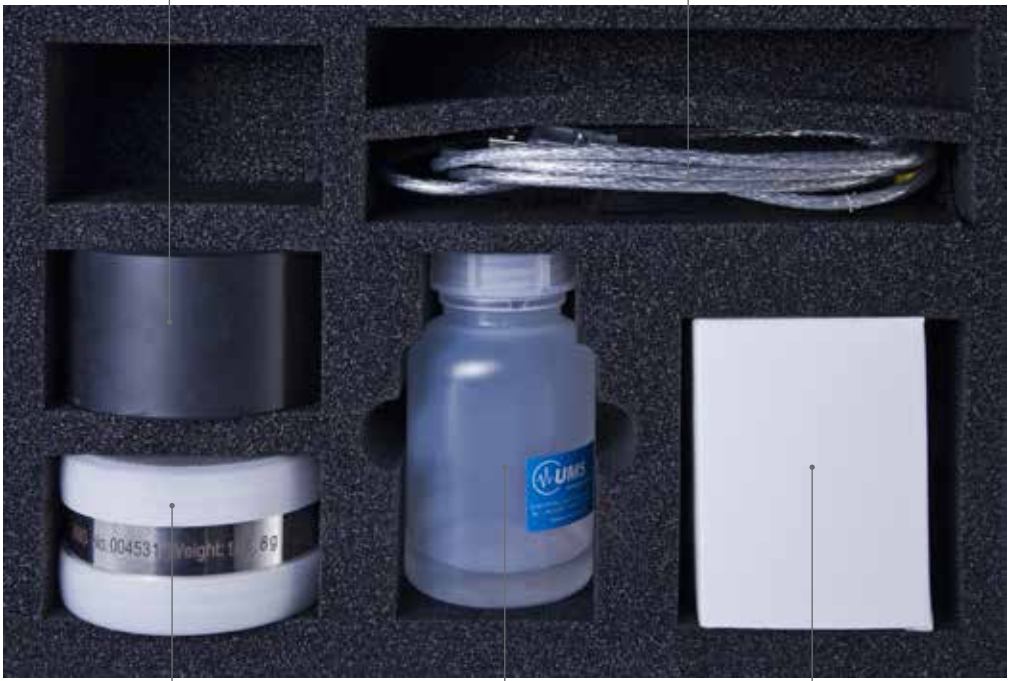
Hinweis

Diese Anleitung beschreibt nicht die **Auswertung** der Messdaten mit der Software HYPROP-FIT. Hierzu ist ein weiteres Manual als pdf erhältlich über den Link:
http://www.ums-muc.de/static/Manual_HYPROP-FIT.pdf



Zusätzlich im Lieferumfang

Tröpfchenspritze
Evakuierspritze
Wasservorratsspritze
Bohrer
Schlauch für Evakuierspritze (links)
und Sensoreinheit- Adapter


Bohradapter
HYPROP USB-Adapter
Stechzylinder 250 ml
mit Schutzkappen
entionisiertes
Wasser
Steckernetzteil

Inhalt

Funktionsprinzip auf einen Blick 2
Bestandteile des Systems und Lieferumfang 3
Wichtige Hinweise 10
Sicherheit 10
Bestimmungsgemäße Verwendung 10
Garantie 10
Funktionen der HYPROP-VIEW-Software 11
Hauptfunktionen 11
User support 11
Angeschlossene Geräte anzeigen 12
Aufbau des Gerätebaums 13
Hauptfenster 14
Erstinbetriebnahme 16
Software-Installation: HYPRO-VIEW und HYPROP-FIT 16
Hardware-Konfiguration 17
Handhabung der von UMS verwendeten Steckverbindungen 18
Generelle Vorgehensweise bei der Messung 19
Vorbereiten einer Messung 20
Aufsättigen der Bodenprobe 20
Befüllen des Gerätes 22
mit der Refill Unit (Zubehör) 23
mit Spritzen 28
Einbau der Kerzen in die Sensoreinheit 41
Schmutzschutz anbringen 44
Funktionskontrolle 45
Zusammenbau von Sensoreinheit und Bodenprobe 47
Sensoreinheit und Waage anschließen 49
Vorbereiten der Waage 51
Justierung 53
Voreinstellungen 55
Durchführung einer Messung 56
Mehrwaagen-Modus (eine Waage pro Sensoreinheit) 56
Einzelwaagen-Modus (eine Waage für mehrere Sensoreinheiten) 57
Optimale Messkurve 59
Hinweis zu nicht optimalen Messkurven 61
Beenden der Messung 62

Trockengewicht bestimmen **65**
Messung auswerten **67**
Problembehebung **68**
Reinigung und Wartung **69**
Sensoreinheit reinigen 69
O-Ringe in der Sensoreinheit austauschen 70
Lagerung 70
Weiteres Zubehör **72**
Theorie **74**
Vorbemerkung 74
Messmethode 75
Erläuterung von Begriffen 76
Erzeugung von Datenpunkten 79
Zusätzliche Hinweise 81
Anhang **82**
Typische Messkurven 82
Standard pF-Kurven 89
Verfahren zur Probenahme für WP4 Messungen nach einer HYPROP Messung 90
Einheitenübersicht für Bodenwasser- und Matrixpotentiale 91
Zahlen, Daten, Fakten **92**
Technische Daten 92
Zitierte Literatur **93**

Wichtige Hinweise

Sicherheit

Elektrische Installationen müssen die Sicherheits- und EMV-Bestimmungen des Landes erfüllen, in dem das System benutzt werden soll. Schäden, die durch den Benutzer verursacht werden, sind nicht in der Garantie abgedeckt. HYPROP ist ein Gerät, um Bodenwasserspannungen zu messen sowie Bodenwasserdruck und -temperatur und ist nur für diesen Zweck ausgelegt. Bitte beachten Sie folgenden Warnhinweis:

Hinweis

Keramik: Die Keramik der Kerzen nicht mit bloßen Fingern berühren. Fette oder Seifen beeinträchtigen die hydrophilen Eigenschaften der Keramik.

Hinweis

Achtung, nicht mit spitzen Gegenständen in die Bohrungen der Sensoreinheit stechen. Dadurch kann der Drucksensor zerstört werden.

Bestimmungsgemäße Verwendung

HYPROP© ist ein Messsystem, das zur Bestimmung der Wasserretentionsfunktion und der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit als Funktion der Wasserspannung oder des Wassergehaltes von Bodenproben dient.

Garantie

Die Garantiedauer beträgt 12 Monate und erstreckt sich bei bestimmungsgemäßer Verwendung auf Herstellungsfehler und Mängel. Der Umfang ist beschränkt auf die ersatzweise Lieferung oder Reparatur inklusive Verpackung. Versandspesen werden nach Aufwand berechnet. Erfüllungsort ist München, Gmunderstr. 37.

Funktionen der HYPROP-VIEW Software

Hauptfunktionen

Die Hauptfunktionen sind:

- Anzeige der angeschlossenen Geräte
- Anzeige der gemessenen Tensionen und Gewichte der Bodenproben
- Befüllassistent
- Wizard für die Messkonfiguration

Der Wizard ist im zugehörigen Kapitel gezeigt.

User support

Hinweis

Nach dem Starten der Software führt die Benutzerführung durch alle Sofwarefunktionen. Wenn Sie jedoch ein geübter User sind, werden Sie möglicherweise nicht den Wizard für die Messkonfiguration benutzen wollen, sondern Ihre Daten direkt eingeben. Dies ist auch möglich.

Beispiel für User support: Help Funktion

Wenn Sie die Software starten und die Help-Funktion aktiviert haben, erscheinen Hinweise zum nächsten Schritt, z. B. ist hier das „Show device“ Icon anzuklicken.

Beispiel für User support: Wizard

Klicken Sie auf ein Icon in der oberen Leiste z.B. „Measurement“.

Gehen Sie wie im Wizard angefordert vor.

Wenn alle Schritte durchgeführt sind, klicken Sie auf „Apply“, wenn Sie diese Konfiguration übernehmen wollen. Durch Klicken auf „Cancel“ gelangen wieder auf die ursprüngliche Seite, von der aus Sie den Wizard geöffnet haben.

Daten, die Sie eingegeben haben, werden ins Programm übernommen.

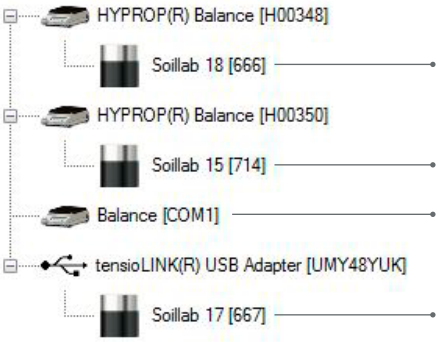
Angeschlossene Geräte anzeigen

Klicken Sie auf das Icon „Show devices“.

Wenn Waage nicht angezeigt wird, prüfen, ob Waage eingeschaltet ist.

Alle angeschlossenen Waagen und Sensoreinheiten werden angezeigt.

Aufbau des Gerätebaums (Beispiel)



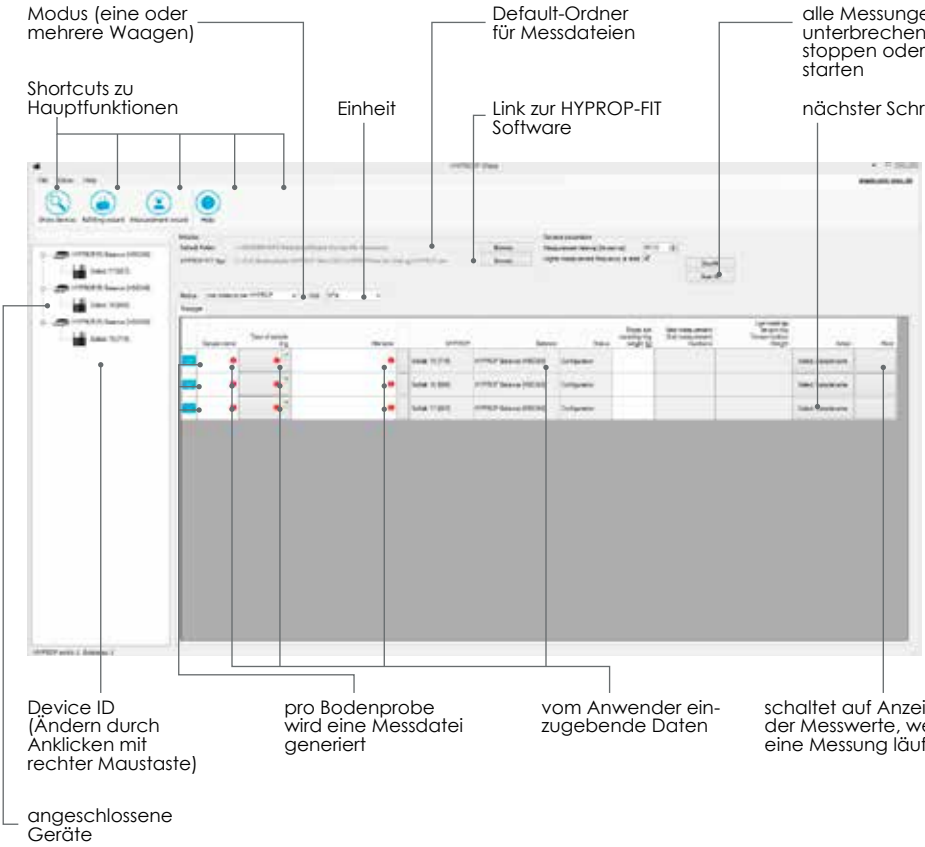
Sensoreinheit „Soillab 18“ ist über eine HYPROP-Waage angeschlossen

Sensoreinheit "Soillab 15" ist über eine HYPROP-Waage angeschlossen

Kern-Waage ist über eine RS232-Schnittstelle an den Rechner angeschlossen

Sensoreinheit „Soillab 17“ ist über ein HYPROP USB-Kabel an den Computer angeschlossen.

Hauptfenster mit Messwerten


Modus (eine oder mehrere Waagen)
Default-Ordner für Messdateien
alle Messungen unterbrechen, stoppen oder starten
Shortcuts zu Hauptfunktionen
Einheit
Link zur HYPROP-FIT Software
nächster Schritt
Device ID (Ändern durch Anklicken mit rechter Maustaste)
pro Bodenprobe wird eine Messdatei generiert
vom Anwender einzugebende Daten
schaltet auf Anzeige der Messwerte, wenn eine Messung läuft.
angeschlossene Geräte

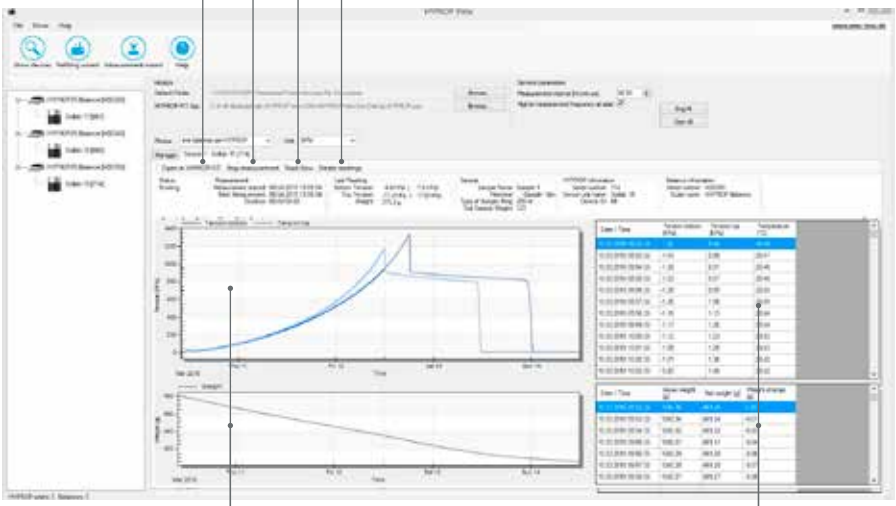
Hauptfenster mit Messwerten

Stoppt die Messung

Führt eine außerplanmäßige Messung durch

Öffnet die Messdatei in HYPROP-FIT bei laufender Messung

Löscht alle durchgeführten Messungen



Anzeige der Tensionen und des Gewichts der Bodenprobe über der Zeit (graphisch)

Anzeige der Tensionen und des Gewichts der Bodeprobe über der Zeit (tabellarisch)

Erstinbetriebnahme

Software-Installation: HYPROP-VIEW und HYPROP-FIT.

Legen Sie die CD mit der HYPROP-Software ein. Wenn Sie keine CD haben, führen Sie einen Download unter **www.ums-muc.de/static/HYPROP.zip** durch. **Doppelklicken Sie auf Setup.exe** Folgen Sie den Anweisungen des Wizards.

Der Wizard führt Sie durch die Installation.

Schließen Sie die Waage HYPROP-Balance am USB-Stecker des Rechners an.

Die Waage verbindet sich automatisch mit dem Rechner.

Starten Sie die HYPROP-VIEW Software.

HYPROP ist bereit zur Messung.

Hinweis:

Für die Installation der Software benötigen Sie eventuell Administratorenrechte.

Hardware-Konfiguration

Device-ID ändern

Jede Sensoreinheit muss über eine eindeutige Device-ID verfügen, da sonst eine Kollision in der Kommunikation auftreten kann.

Gerät anklicken mit rechter Maustaste.

Change Device-ID wählen.

Über Pulldown eine verfügbare ID auswählen.

Apply anklicken.

Gerätename umbenennen (optional)

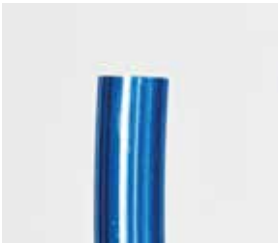
Gerät anklicken mit rechter Maustaste "Rename" wählen.

Apply anklicken

Handhabung der von UMS verwendeten Steckverbindungen

Hinweis

Schlauch senkrecht abschneiden, sonst kommt es zu Undichtigkeiten



Zum **Verbinden** Schlauch bis zum Anschlag eindrücken

Zum **Lösen** blauen Ring drücken und Schlauch herausziehen

Generelle Vorgehensweise

Eine Messung besteht aufs folgenden Schritten:

- Probenahme und Probenpräparierung
- Probenaufsättigung
- Vorbereitung des Messsystems
- Montage der Probe auf dem Messsystem und Start der Messkampagne
- Auswertung der Messergebnisse mit HYPROP-FIT.

Im Folgenden führen wir Sie in diesem Handbuch Schritt für Schritt durch die Vorgehensweise.

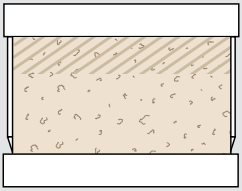
Vorbereiten einer Messung

Aufsättigen der Bodenprobe

Den Stechzylinder mit Bodenprobe aus der Transportbox nehmen und reinigen. Ober- und Unterseite der Probe präparieren (z. B. mit Sägeblatt).

Auf die Stechzylinderseite mit der angeschärften Kante (spätere Unterseite) eine Schutzkappe mit der Rückseite aufsetzen. Dies wirkt wie eine Stütze.

Diese Vorgehensweise sichert, dass kein Boden verloren geht, auch dann nicht, wenn Sand lose eingefüllt wird.

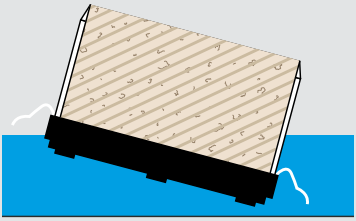


Probe umdrehen und absetzen. Schutzkappe der anderen Seite (spätere Oberseite) abnehmen, Vlies auflegen und Aufsättigungsschale aufsetzen.

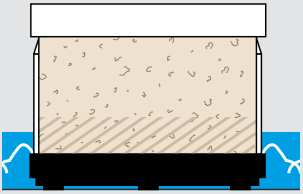
Probe wieder umdrehen.

Ca. 2 cm entgastes Wasser in eine Wanne füllen.

Probe ins Wasserbad setzen und dabei kippen, um Lufteinschlüsse unter der Probe zu entfernen.

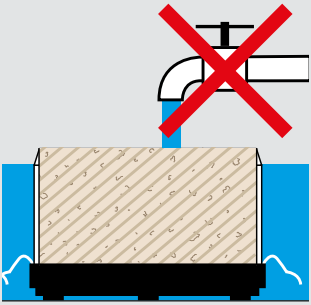


Die umgedrehte Schutzkappe wieder lose aufsetzen, so dass Luft entweichen kann und die Oberfläche vor direkter Sonneneinstrahlung und Verdunstung geschützt ist.



Wasser bis 5 mm unter die Stechzylinder-Oberkante nachgießen (Zeitpunkt siehe unten). Nicht auf die Probe gießen, weil dann Luft eingeschlossen werden kann. Nach der unten angegebenen Zeit ist die Aufsättigung abgeschlossen.

Stechzylinder so lange kapillar aufsättigen lassen, bis Oberfläche glänzt.



Hinweis: Empfohlene Dauer der Aufsättigung

Material	Nachfüllen nach	Aufgesättigt nach
Grobsande	ca. 9 min	ca. 10 min
Feinsande	ca. 45 min	ca. 1 Stunde
Schluffe	ca. 6 Stunden	ca. 24 Stunden
Tone	entfällt	bis zu 2 Wochen

Befüllen des Geräts

Die Kerzen übertragen die Matrixpotentiale (auch als Saugspannungen bezeichnet) der Bodenprobe über ihre poröse Keramikspitze und den wassergefüllten Schaft auf die Druckaufnehmer in der Sensoreinheit. Die Kerzen stellen also über ihre Poren den Kapillarkontakt zwischen dem Wasser in der Kerze und dem Bodenwasser her.

Damit die Druckübertragung gut funktioniert, darf keine Luft eingeschlossen sein. Deshalb müssen die Kerzen und die Sensoreinheit komplett mit entgastem Wasser gefüllt werden.

Hierzu gibt es zwei Methoden:

1. die Befüllung mithilfe der Refill Unit (Zubehör) vereinfacht alle Schritte und geht schnell.
2. die Befüllung mithilfe von Spritzen, die zur Basisausstattung gehören. Diese Methode ist zeitaufwändiger und erfordert mehr Handarbeit.

Im folgenden werden beide Methoden beschrieben.

Umfang:

Vakuumpumpe zur Erzeugung eines Unterdrucks bis 8 hPa gegen Vakuum

Vacuum mount (mit Vakuumflasche, um Eindringen von Wasser in die Pumpe zu vermeiden)

Manometer

Beaker mount mit 2 Bechergläsern. Bis zu 10 Beakermounts können in Reihe geschaltet werden.

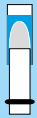
Endstück mit Hahn

Stellen Sie die Vakuumpumpe auf den Boden (niedrigere Temperatur), um bessere Werte für den Unterdruck zu erzielen.

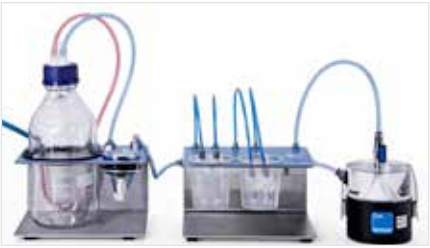
Hinweis:

Keramik nicht mit den Fingern berühren, da Hautfett die Funktion beeinträchtigt.

An Luft würde das Wasser aus der Kerze verdunsten.
Deshalb Schutzkappe aufsetzen.



Verbinden Sie die einzelnen Geräte der Refill-Unit wie abgebildet. Schläuche und Anschlüsse, die verbunden werden müssen, sind durch gleiche Farben gekennzeichnet.



Pumpe mit einer Zeitschaltuhr und Zeitschaltuhr mit dem Netz verbinden.

Hinweis

Wir empfehlen den Einsatz einer Zeitschaltuhr, weil dies den Verschleiß der Pumpe reduziert, Energie spart und evtl. vorhandene Luftblasen beim Einschalten weggerissen werden. Die Zeitschaltuhr ist nicht im Lieferumfang der Refill-Unit enthalten und muss vom Kunden selbst beschafft werden.

Wir empfehlen, auch bei jedem Entgasungsvorgang eine zusätzliche Flasche mit deionisiertem wasser zu entgasen. Sie benötigen das Wasser, wenn Sie die Kerzen befüllen.

Befüllen der Sensoreinheit

Hinweis

Achtung, nicht mit der Spritzenspitze in die Bohrung stechen. Dadurch kann der Drucksensor zerstört werden.

Bohrungen der Sensoreinheit blasenfrei füllen. Hierzu die Tropfenspritze verwenden.

Befülladapter aufsetzen und festspannen. Befülladapter mit der Tropfenspritze möglichst blasenfrei füllen.

1,2, 3 oder 4 Kerzen in die Adapter schrauben.

Blindstopfen auf nicht verwendete Anschlüsse stecken.

Becher mit deionisiertem Wasser füllen.

Absperrhahn der Beaker-Unit schließen.

Zeitschaltuhr auf z.B. auf einen Rhythmus von 5 min „ein“ und 55 min „aus“ stellen.

Zeitschaltuhr startet die Pumpe automatisch und arbeitet im eingestellten Ein-/Aus-Rhythmus. Nach frühestens 24 h Betrieb ist das Wasser in den Kerzen entgast

Hinweis

Wenn das Manometer des Vacuum Mounts nach Abschalten der Pumpe rasch abfällt, ist das System undicht. Bitte prüfen, ggf. Undichtigkeit beseitigen und System erneut entlüften. Wenn Sie statt einer HYPROP-Pumpe eine andere Vakuum-Pumpe verwenden, achten Sie darauf, dass diese ein Endvakuum von ca. 8 hPa unter dem Wert des atmosphärischen Luftdrucks erreicht. Die Leistung ist egal! Vakuumpumpen, die nur einen geringeren Unterdruck erzeugen können, sind ungeeignet.

HYPROP Refil Unit auf Umgebungsdruck bringen

Pumpe ausschalten. Hahn am Endstück vorsichtig öffnen.

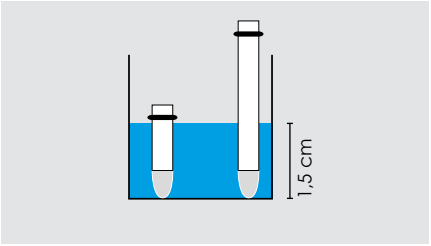
Hinweis

Keinesfalls zum Entlüften des Systems einen der Schläuche abziehen. Durch den plötzlichen Druckanstieg wird der Druckaufnehmer in der Sensoreinheit zerstört.

Wenn das Wasser in den Kerzen und in der Sensoreinheit entgast ist, können Sie das HYPROP zusammenbauen (weiter mit Kapitel „Einbau der Kerzen in die Sensoreinheit“).

Entlüften des Geräts mit Spritzentechnik

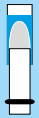
Wenn Sie Zeit haben, stellen Sie die Kerzen über Nacht in entionisiertes Wasser. Das Entlüften geht dann schneller.
Es darf kein Wasser von oben in den Kerzenschaft gelangen, sonst wird Luft in den Poren eingeschlossen.



Hinweis:

Keramik nicht mit den Fingern berühren, da Hautfett die Funktion beeinträchtigen.

Wenn die Kerze an der Umgebungsluft liegt, dann verdunstet das Wasser in der Kerze und Luft tritt ein. Deshalb immer einen mit Wasser gefüllten Schutzschlauch aufsetzen.



Befüllen der Kerzen

① Wasservorratsspritze mit 10 ml Wasser aufziehen.

Spritze senkrecht stellen und Restluft herausdrücken.

② Wasservorratsspritze mit Finger verschließen und Kolben ganz herausziehen und halten.

Der Unterdruck in der Spritze läßt das Wasser entlüften. Luftblasen werden sichtbar.

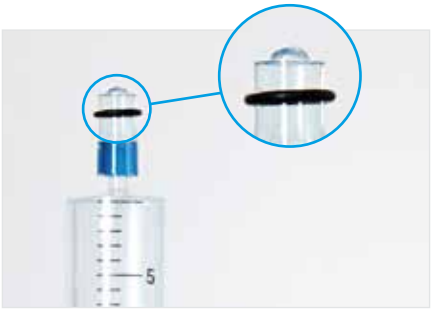
③ Wasservorratsspritze schwenken und drehen, um Blasen „einzufangen“.

④ Spritze senkrecht stellen und Restluft herausdrücken.

Schritte ① bis ④ wiederholen, bis sich keine Luftblasen mehr bilden.

Schlauchstück auf die Spitze der Spritze setzen.

Kolben nach oben drücken, bis sich ein Meniskus auf dem Schlauchstück bildet.

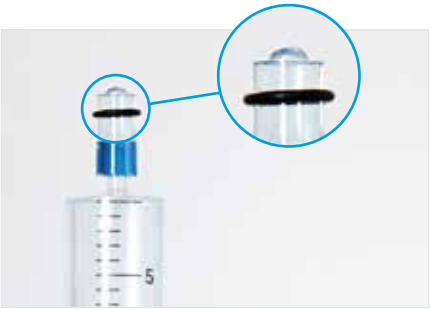


Keramikspitze der ersten Kerze blasenfrei auf das Schlauchstück stecken.

Evakuierspritze mit 5 ml Wasser aufziehen. Spritze senkrecht stellen und Restluft herausdrücken.

Wasser in der Evakuierspritze entlüften - sinngemäß wie bei der Wasservorratsspritze.

Schlauchstück auf die Spitze der Spritze setzen.
Kolben nach oben drücken, bis sich ein Meniskus auf dem Schlauchstück bildet.



Die beiden Spritzen und die Kerze blasenfrei zusammenfügen.
Die beiden O-Ringe dienen zur Abdichtung der Schlauchstücke gegen das Röhrchen der Kerze.

① Kolben der Evakuierspritze herausziehen …

... bis die Kolbenstopper einrasten.
Durch das Vakuum in der Spritze wird die Luft aus der Kerze entfernt.

② Kolben und Spritze festhalten, Kolbenstopper eindrücken und Kolben langsam nach vorn bewegen.

③ Spritze lösen, senkrecht stellen und Restluft herausdrücken.

④ Evakuierspritze wieder blasenfrei auf den Kerzenschaft stecken.

Luft aus der zweiten Kerze entfernen.

Schritte ① bis ④ wiederholen, bis sich keine Luftblasen mehr bilden.

Befüllen der Sensoreinheit

Bohrungen der Sensoreinheit blasenfrei füllen. Hierzu die Tropfenspritze verwenden.

Hinweis

Achtung, nicht mit der Spritzenspitze in die Bohrung stechen. Dadurch kann der Drucksensor zerstört werden.

Befülladapter aufsetzen und festspannen. Befülladapter mit der Tropfenspritze möglichst blasenfrei füllen.

Evakuierspritze mit 15 bis 20 ml Wasser füllen. Wasser in der Spritze entlüften wie auf den vorhergehenden Seiten beschrieben.

① Blauen Schlauch auf die Evakuierspritze stecken und durch Drücken des Kolbens mit Wasser füllen.

② Blauen Schlauch auf den Befülladapter stecken.

③ Kolben nach außen ziehen bis Kolbenstopper einrasten.

Durch den Unterdruck wird die Luft aus dem Befülladapter und der Sensoreinheit entfernt. Luftblasen werden sichtbar.

Hinweis

Extreme Vorsicht! Spritze darf nicht zurückschnalzen, weil durch den Druckstoß der Drucksensor zerstört wird.

④ Luftblasen im Befülladapter durch vorsichtiges Klopfen und Schwenken der Sensoreinheit nach oben in den Schlauch steigen lassen.

Hinweis

Keinesfalls den gefüllten Sensoreinheit auf eine feste Oberfläche schlagen. Die Stöße erzeugen Druckspitzen, die den Drucksensor zerstören können.

⑤ Zum Entspannen Spritze und Kolben festhalten, Kolbenstopper eindrücken und Kolben langsam nach vorne bewegen.

Hinweis

Wenn der Kolben unter Vakuum einfach losgelassen wird, schießt er zurück. Durch die schlagartige Druckänderung kann der Drucksensor in der Sensoreinheit zerstört werden.

⑥ Spritze vom Schlauch abziehen, senkrecht stellen und Restluft heraus-drücken.

Schritte ① bis ⑥ wiederholen, bis sich im Befülladapter keine Luftblasen mehr bilden.

Evakuierspritze mit entlüftetem Wasser blasenfrei auf den Befülladapter stecken. Kolben der Evakuierspritze bis zum Einrasten der Kobenstopper zurückziehen. Der angezeigte Druck muss auf den aktuellen Luftdruckwert minus ca. 20 hPa ansteigen.

Wenn dieser Wert erreicht wird, ist die Sensoreinheit nach ca. 3 Stunden bereit zur Messung.

Hinweis

Wenn der Unterdruck nicht auf den aktuellen Luftdruckwert minus ca. 20 hPa absinkt, befindet sich mit großer Wahrscheinlichkeit Luft im System:

- Totvolumen in der Spritze,
- Luftblasen im Schlauch
- oder Undichtigkeit im System (z.B. zwischen Sensoreinheit und -adapter).

Dann muss die Luft aus dem System nochmals entfernt werden.

Einbau der Kerzen in die Sensoreinheit

Silikonschlauch als Schutz vor Berührung über die Keramik stülpen. Kerze auffüllen, bis sich Meniskus bildet.

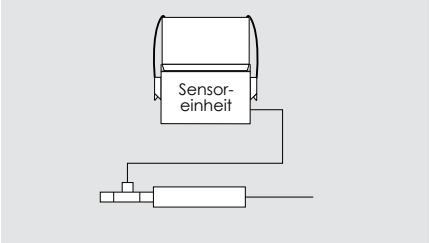
Hinweis:

Kerze nur mit entgastem Wasser füllen, sonst können sich Blasen bilden.

Die Keramik der Kerze muss stets feucht gehalten werden.

Für die folgenden Arbeitsschritte ist es unbedingt notwendig, die Sensoreinheit an den Computer anzuschließen. So können Sie den Druckanstieg beim Einschrauben der Kerzen beobachten und sicherstellen, dass die Drucksensoren nicht beschädigt werden.

Sensoreinheit an den USB-Adapter anschließen.



Klicken Sie auf das Icon „Refilling“.

Führen Sie die vier Schritte wie angegeben aus.

① Wasser in Schutzschlauch füllen.
② Schaft in das Gewinde einschrauben.
③ Tensionswerte im Refill-Wizard beobachten
④ Nach ca. 9 Umdrehungen (wenn der O-Ring in der Sensoreinheit abdichtet), steigt der Druck schnell an.
⑤ Langsam noch eine **Vierteldrehung** weiterdrehen.

Hinweis

Achtung!
Gehen Sie bitte extrem vorsichtig vor, wenn Sie die gefüllten Kerzenschäfte eindrehen. Der Druck, der den Sensor zerstören kann, steigt schlagartig bei etwa 9 Umdrehungen an. Dieser Druck sollte 2000 hPa nicht übersteigen - auf keinen Fall 3000 hPa.

Alle Schritte wie beschrieben für die zweite Kerze durchführen.

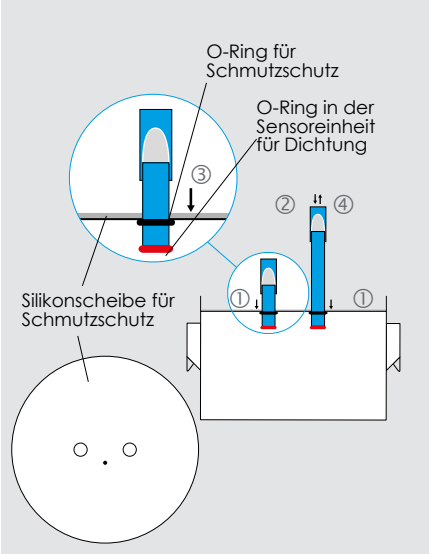
Wenn alle Schritte durchgeführt sind, klicken Sie auf „Close“ und gelangen wieder auf die ursprüngliche Seite, von der aus Sie den Wizard geöffnet haben.

Hinweis:

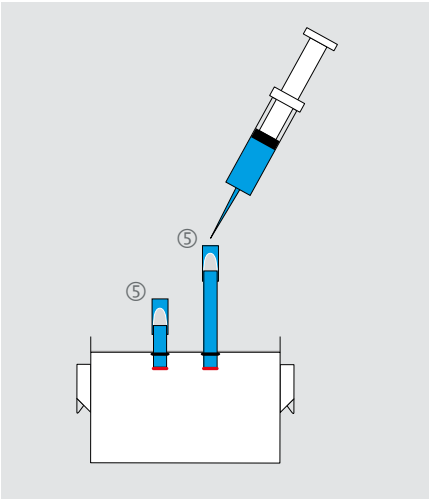
Wenn Sie während einer Messung den Refilling-Wizard öffnen, wird die Messung unterbrochen. Der Wizard wird deshalb nach 2 Minuten automatisch geschlossen.

Schmutzschutz anbringen

① O-Ringe für Schmutzschutz bis zur Rille in der Sensoreinheit auf die Kerzen schieben.
② Schutzschläuche von den Kerzen abnehmen.
③ Silikonscheibe für Schmutzschutz auflegen.
④ Schutzschläuche wieder aufstecken.

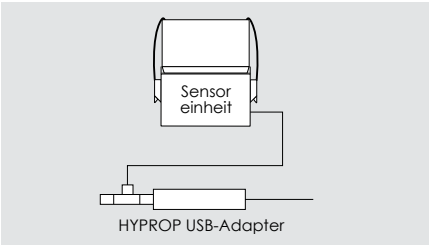


⑤ Sofort Wasser in die Schutzschläuche füllen.

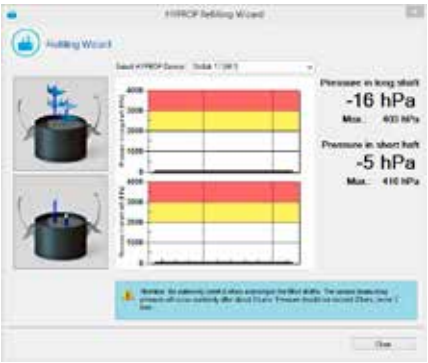


Funktionskontrolle

Sensoreinheit an den USB-Adapter anschließen.



Klicken Sie auf das Icon „Refilling“.



Nullpunktkontrolle

① Geben Sie einen Tropfen Wasser auf die Keramikspitze der Kerze. Damit herrscht Nullpotential.

② Der Rechner sollte bei beiden Kerzen 0 hPa anzeigen.

Kontrolle der Ansprechgeschwindigkeit

① Gefüllte Tropfenspritze griffbereit halten.

② Silikonschlauch von der langen Kerze abnehmen und die Keramik mit Papiertaschentuch o.ä. trocknen

③ Luft auf die Keramik fächeln und Druckanzeige am Computer beobachten.
Der Druck sollte innerhalb von 15 s auf den Wert des atmosphärischeen Luftdrucks minus 100 hPa steigen.

Überprüfen, ob Endvakuum erreicht wird

④ Sobald der Druck den Wert des atmoshärischen Luftdrucks 900 hPa erreicht, Keramik **sofort** mit Wasser benetzen.
Andernfalls besteht die Gefahr, dass Luft in die Kerze gelangt und der Entgasungsprozess wiederholt werden muss.

⑤ Schutzschlauch wieder aufsetzen und befüllen.

Schritt ① bis ⑤ für die kurze Kerze wiederholen.

Hinweis:

Wenn der Druck nicht innerhalb von 15 s auf eine Tension nahe dem atmoshärischen Luftdruck minus 100 hPa steigt, befindet sich mit großer Wahrscheinlichkeit Luft in der Kerze. Dann muss das Entgasen der Sensoreinheit und des Wassers wiederholt werden!
Weitere Ursache können sein:
- Kerze sitzt nicht dicht auf dem O-Ring,
- Kerze ist verstopft (z.B. durch fettige Finger),
- Dichtungsring der Kerze ist verschlissen.

Zusammenbau von Sensoreinheit und Bodenprobe

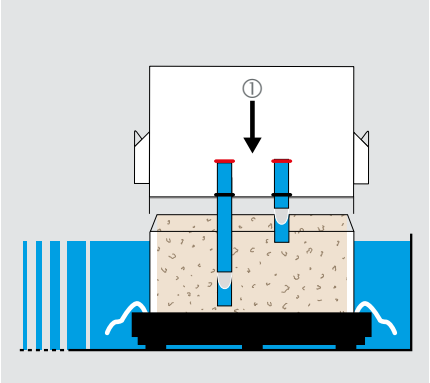
Bohren der Löcher

① Bohradapter mit der kleinen Bohrung in Richtung der Stechzylindernummer auf die gesättigte Bodenprobe in der Aufsättigungsschale setzen. Dadurch findet man beim Zusammensetzen von der Sensoreinheit und Bodenprobe leichter die richtigen Positionen.

② Mit dem Spezialbohrer die Löcher bohren. Vorsichtig und behutsam in 10mm-Schritten bohren, damit die Bodenprobe nicht komprimiert wird.

Bohrungen mit Wasser füllen, damit später beim Zusammenbau keine Luft in die gesättigte Bodenprobe gepresst wird.

① Sensoreinheit vorsichtig kopfüber auf die aufgesättigte Bodenprobe setzen. Darauf achten, dass keine Luftspalte oder Bodenkomprimierungen entstehen.



① Gesamte Messanordnung um 180° drehen
② Vlies und Aufsättigungsring entfernen.

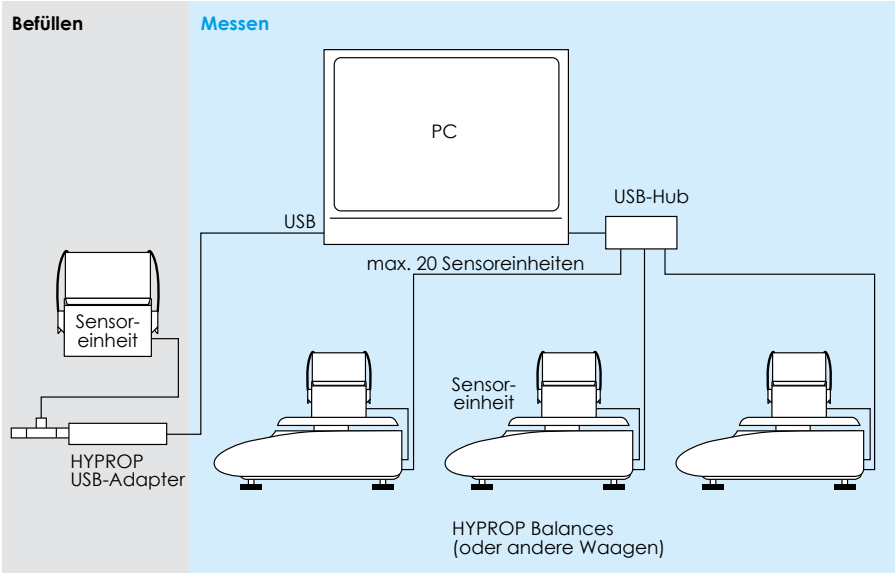
① Bodenprobe mit den Klammern fixieren.
② Stechzylinder und Klammern sorgfältig reinigen und abtrocknen, sonst werden Wasser und Schmutz mitgewogen.

Die Bodenprobe ist nun bereit zur Messung.

Sensoreinheit und Waage anschließen

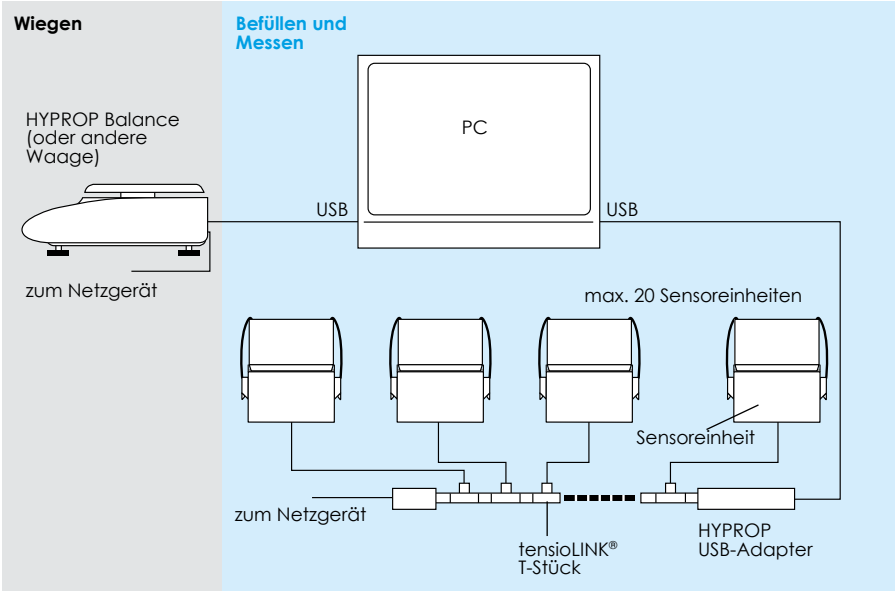
Mehrwaagen-Modus

(eine Waage pro Sensoreinheit)



Einzelwaagen-Modus

(eine Waage für mehrere Sensoreinheiten)

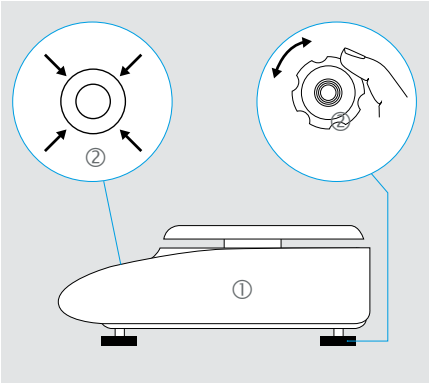


Vorbereiten der Waage

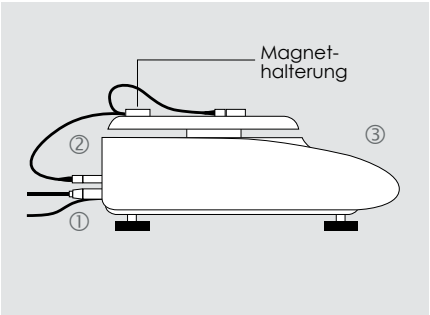
Aufstellung

Die Waage sollte an einem erschütterungsfreien Arbeitsplatz stehen, der ausschließlich für HYPROP-Messungen genutzt wird.

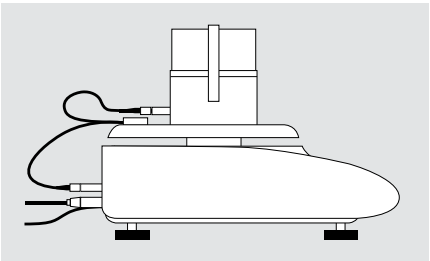
① Die Waage waagerecht aufstellen.
② Justieren Sie die Luftblase in der Libelle, die im Zentrum liegen soll, durch Verstellen der Waagenfüße.



① Waage am Netzgerät und am USB-Eingang des PC anschließen und einschalten.
② Das Sensoreinheitkabel an der Waage anschließen und mit der Magnethalterung fixieren.
③ Das freie Ende des Kabels mit dem Stecker auf die Waage legen. Die Anzeige durch Drücken der Taste „Tara“ auf Null setzen.

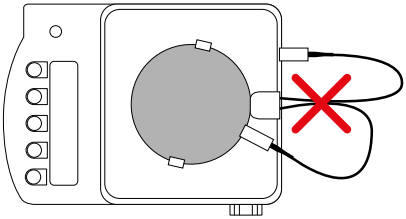


Sensoreinheit anschließen und auf die Waage stellen.



Hinweis:

Die beiden Enden des Sensoreinheitkabels dürfen sich nicht berühren, sonst kommt es zu Fehlmessungen.



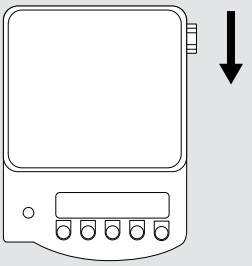
Justierung

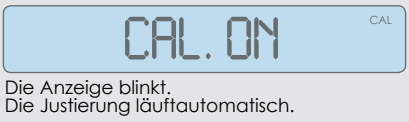
Für präzise Messungen muss die Waage am Aufstellungsort auf die dort herrschenden Bedingungen justiert werden:

- bei der Erstinbetriebnahme
- bei einem Standortwechsel
- bei Temperaturänderung.

Wir empfehlen, die Waage auch im Messbetrieb alle **4** Wochen zu justieren.
Für die Justierung ist die Waage mit einem internen Justiergewicht ausgestattet.

Drehknopf an der Waage auf CAL stellen.

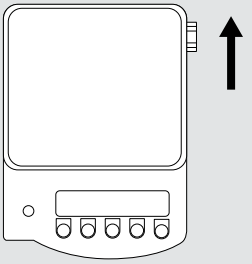


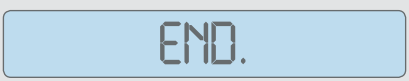


Die Anzeige blinkt.
Die Justierung läuftautomatisch.

Die Justierung ist beendet.

Drehknopf an der Waage auf WEIGH stellen.





Die Waage ist justiert und Sie können jetzt wieder wiegen.

Hinweis:

Die Gewichtsangabe auf UMS-Messzylindern bezieht sich auf g = 9,80665 m/s^2.

Default-Einstellungen

Funktion	Anzeige	Einstellung
Bar-Graph		Ein
Toleranzwiegung		Aus
Nullabgleich		Automatische Nullpunktkorrektur
Automatische Abschaltung nach 3 Min. bei Akkubetrieb		Ein
Anzeigegeschwindigkeit		Mittlere Geschwindigkeit
Vibrationsfilter		Mittlere Empfindlichkeit
Schnittstelle		6-stelliges Datenformat

Durchführen einer Messung

Mehrwaagen-Modus
(eine Waage pro Sensoreinheit)

Klicken Sie auf das Icon „Show devices“.

Wenn Waage nicht angezeigt wird, prüfen, ob die Waage angeschlossen und eingeschaltet ist.

Klicken Sie auf das Icon „Measurement wizard“

Geben Sie folgende Daten entweder über den Wizard (Icon anklicken) oder direkt in den Manager ein:
- Messmodus,
- Maßeinheit,
- Name der Bodenprobe,
- Stechzylindertyp und
- Waagentyp.

Nach Ausfüllen der ❗ Felder wechselt die Tastenbezeichnung auf „Start“.

Start — Starttaste drücken.

Aktueller (im Minutentakt) und maximaler Tensionswert der oberen und unteren Kerze.

Aktuelle (im Minutentakt) Masse der Probe.

Hinweis:

Das Magneto-Anschlusskabel muss frei als Schlaufe liegen, ohne also dazwischen irgendwo anzustehen.
Bevor Sie zu Wiegen beginnen, warten Sie mindestens 5 Minuten, damit sich die mechanische Spannung im Kabel abbauen kann.

Einzelwaagen-Modus

(eine Waage für mehrere Sensoreinheiten)

Klicken Sie auf das Icon „Show devices“.

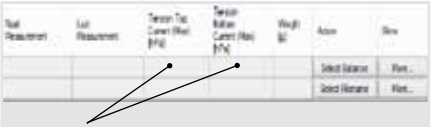
Wenn Waage nicht angezeigt wird, prüfen, ob die Waage angeschlossen und eingeschaltet ist.

Klicken Sie auf das Icon „Measurement wizard“

Geben Sie folgende Daten entweder über den Wizard (Icon anklicken) oder direkt in den Manager ein:
- Messmodus,
- Maßeinheit,
- Name der Bodenprobe,
- Stechzylindertyp und
- Waagentyp.

Nach Ausfüllen der ❗ Felder wechselt die Tastenbezeichnung auf „Start“.

Start Starttaste drücken.



Aktueller (im Minutentakt) und maximaler Tensionswert der oberen und unteren Kerze.

Hinweis:

Das Magneto-Anschlusskabel muss frei als Schlaufe liegen, ohne also dazwischen irgendwo anzustehen.
Bevor Sie zu Wiegen beginnen, warten Sie mindestens 5 Minuten, damit sich die mechanische Spannung im Kabel abbauen kann.

Ermitteln der Probenmasse

Wir empfehlen im Einzelwaagen-Modus die Probenmasse zweimal täglich zu wiegen.

Stecker aus der Sensoreinheit ziehen.

Das System erkennt automatisch, welche Sensoreinheit auf die Waage gestellt wurde.

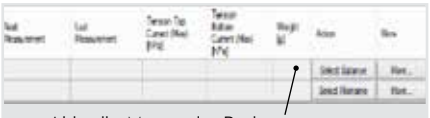
Hinweis:

Bitte nicht am Kabel ziehen, sondern nur an der geriffelten Fläche am Stecker.

Es darf immer nur eine Sensoreinheit abgesteckt werden. Die Anzahl der Bodenproben ist auf 20 begrenzt.

Folgen Sie den Anweisungen am Bildschirm.

Auf dem Bildschirm erscheint ein Menü, das den Status und die Messroutine anzeigt.



Aktuelle Masse der Probe.

Sensoreinheit von der Waage abstecken und wieder am T-Stück des HYPROP USB-Adapters anstecken (mit Assistent unterstützt).

Der Wizard führt durch die Wiegeprozedur.

Hinweis:

Wenn Sie mit einer Waage mehrere Sensoreinheiten betreiben, kommt das Magneto-Anschlusskabel nicht zum Einsatz.

Optimale Messkurve

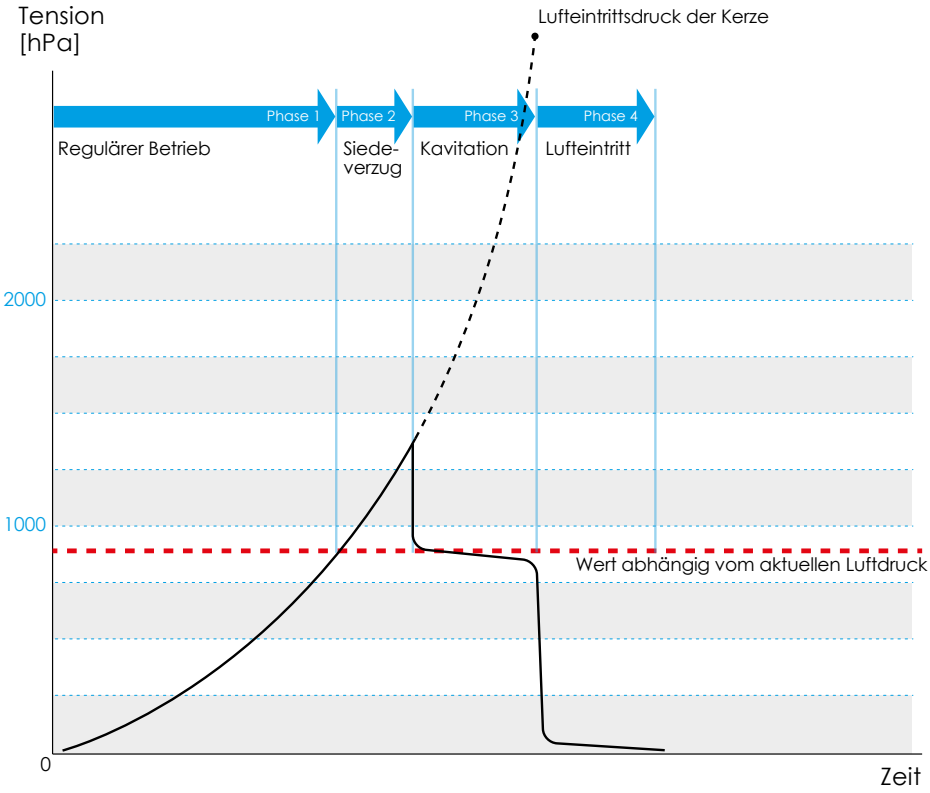
Jede Messung läuft in 4 Phasen ab, vorausgesetzt Kerzen und Sensoreinheit sind blasenfrei befüllt.

Phase 1, regulärer Messbereich
Tensionswert steigt ohne Verflachung bis zum Erreichen des Dampfpunktes von Wasser.

Phase 2, Siedeverzugsphase
Der Tensionswert steigt im Idealfall - wenn das System blasenfrei befüllt ist - ohne Verflachung der Kurve bis in den Siedeverzugsbereich > 850 hPa. Dies ist jedoch für eine Auswertung im allgemeinen nicht notwendig.

Phase 3, Kavitationsphase
In der Kerze bildet sich Wasserdampf und der Tensionswert fällt schlagartig auf den Siedepunktswert ab. Im Verlauf der Phase 3 sinkt der Tensionswert nur geringfügig.

Phase 4, Lufteintrittsphase
Der Tensionswert fällt wieder schlagartig, diesmal auf 0 hPa, weil Luft durch die Keramik hindurch tritt. Der Lufteintrittspunkt ist ein Materialkennwert der Keramik und liegt bei ca. 8800 hPa. Dieser Punkt (knapp unter pF4.0) steht ebenfalls für die Auswertung zu Verfügung.

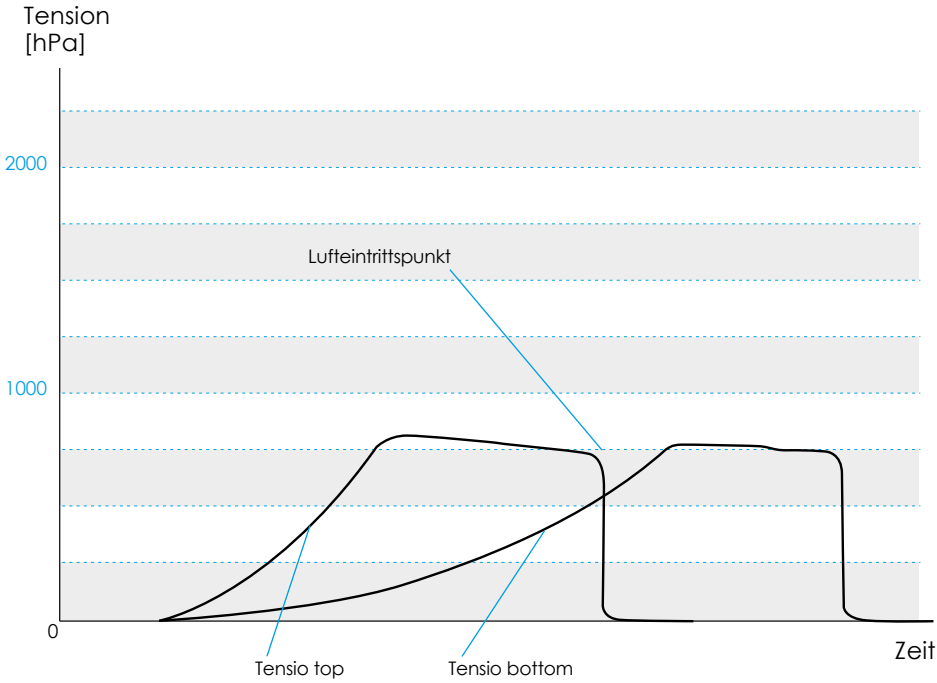


Darstellung der vier Phasen am Beispiel einer Kerze

——— gemessene Werte ---------- interpolierte Werte

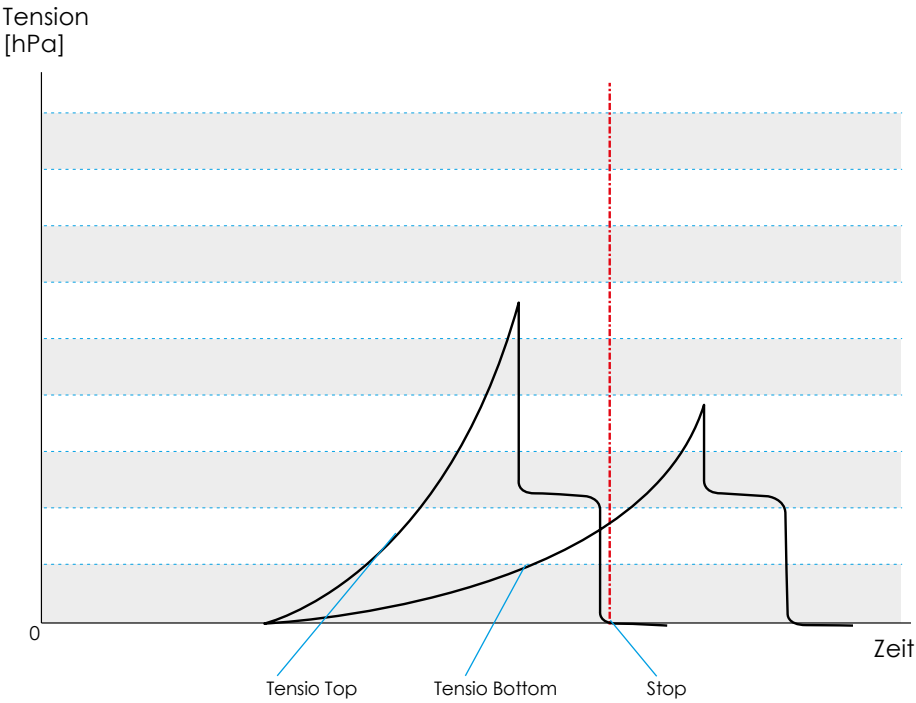
Hinweise für nicht optimale Messkurven

Häufig wird die optimale Messkurve bis in den Siedeverzug nicht erreicht. Die Messkurven sehen dann ähnlich wie im Beispiel unten dargestellt aus. Die Messwerte können ebenfalls für eine Auswertung verwendet werden. Im Kapitel „Anhang“ sind beispielhafte Messkurven für unterschiedliche Böden dargestellt.

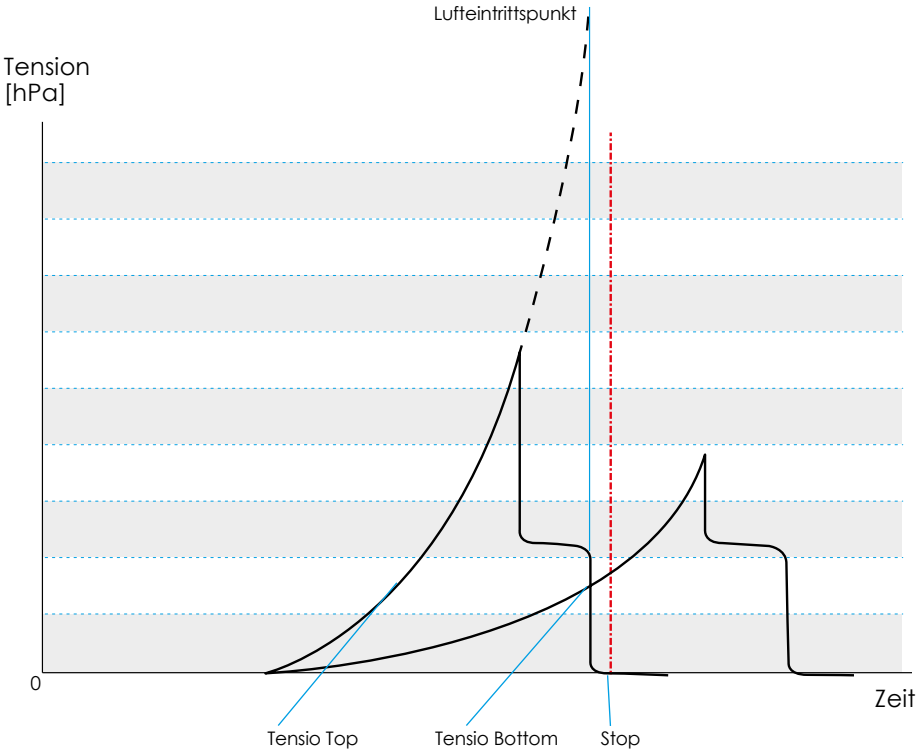


Beenden der Messung

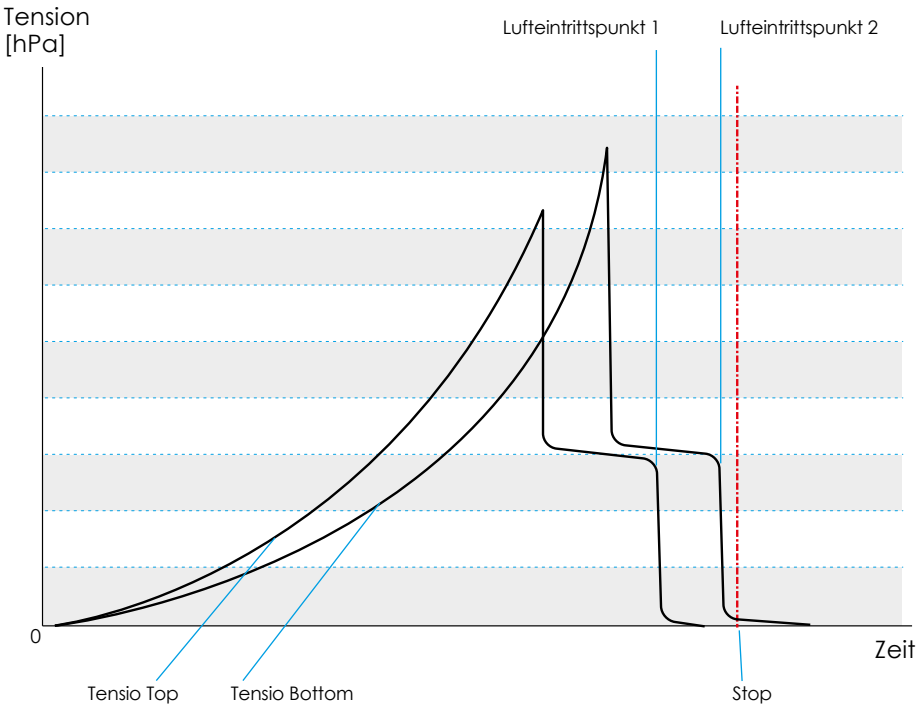
Sie können die Messung beenden, wie folgt.
1. Sie brechen ab, wenn die obere Kerze die Kavitationsphase erreicht hat (siehe Grafik 1). Dann verzichtet man auf den Lufteintrittspunkt.
2. Sie wollen abbrechen und den Lufteintrittspunkt nutzen. Dann gibt es zwei Möglichkeiten:
a) der Lufteintrittspunkt der ersten Kerze ist erreicht und die zweite Kerze befindet sich noch im regulären Betrieb (Phase 1) oder im Siedeverzug (Phase 2). In diesem Fall kann HYPROP den Mittelwert aus dem Lufteintrittspunkt der Tensio Top und der Tensio Bottom Kurve, errechnen (siehe Grafik 2).
b) Wenn der Lufteintrittspunkt der ersten Kerze erreicht ist und sich die zweite Kerze noch in der Kavitationsphase (Phase 3) befindet, kann der Mittelwert der beiden Kurven noch nicht errechnet werden. Dann müssen Sie warten, bis der Lufteintrittspunkt der zweiten Kerze erreicht ist (siehe Grafik 3).



Grafik 1


Lufteintrittspunkt
Tension
[hPa]
0
Zeit
Tensio Top
Tensio Bottom
Stop

Grafik 2



Grafik 3

Stop	In beiden Fällen zum beenden der Messung jeweils Taste „Stop“ drücken.

Anschließend können Sie die Messwerte durch die Software HYPROP-FIT auswerten lassen. Siehe hierzu die zugehörige Bedienungsanleitung unter **www.ums.muc.de/static/Manual_HYPROP-FIT.pdf.**

Trockengewicht bestimmen

Damit aus der Gewichtsabnahme der volumetrische Wassergehalt berechnet werden kann, muss nach Beendigung der Messkampagne das Trockengewicht der Bodenprobe bestimmt werden.

Sensoreinheit und Bodenprobe in Schale stellen (am besten aus hitzebeständigem Material, damit sie anschließend zur Trocknung im Ofen verwendet werden kann). Klammern der Sensoreinheit öffnen.

Stechzylinder vorsichtig senkrecht abziehen. Möglichst wenig verkanten, sonst können die Kerzen brechen.

Hinweis:

Klebt der Boden zu fest an der Sensoreinheit (häufig bei tonigen Böden), stellen Sie den Stechzylinder mit der Sensoreinheit kopfüber in Wasser bis über die Stechzylinderkante. Ggf. über Nacht stehen lassen. Dann kann der Stechzylinder leichter abgezogen werden.

Bodenmaterial vollständig in der Schale auffangen.

Auch Stechzylinder und Silikonscheibe über der Auffangschale reinigen, um Verluste zu vermeiden.

Gewichtsbestimmung

Um den tatsächlichen Wassergehalt des Bodens zu ermitteln, wird die trockene Masse gewogen.

Bodenprobe im Trockenschrank bei 105° C für 24 h trocknen.

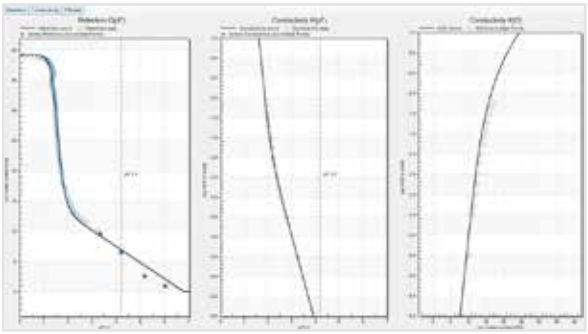
Bodenprobe wiegen.

Die Nettomasse des trockenen Bodenmaterials in der Software HYPROP-FIT im Register „Evaluation“ eingeben.

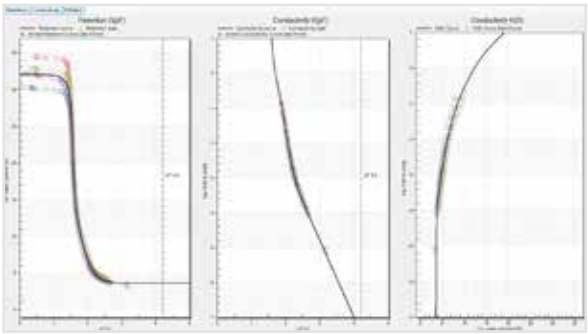
Messung auswerten

Die Messdaten können Sie mit der Software HYPROP-FIT® auswerten. Die Verarbeitung erfolgt nacheinander über die Schritte „Information“, „Messung“, „Auswertung“, „Fitting“ und „Export“.

Für eine Erklärung aller Möglichkeiten der Software nutzen Sie bitte die Bedienungsanleitung der HYPROP-FIT Software: Download über den Link http://www.ums-muc.de/static/HYPROP-FIT.zip



Beispiel:
Fit einer Einzelmessung



Beispiel:
Fit von mehreren Messungen

Problembehebung

Problem	Ursache bzw. Behebung
1. Die Kerze ist trocken.	Kerze mithilfe von Spritze oder Vakuumpumpe mit deionisiertem Wasser befüllen (siehe Kapitel „Vorbereiten der Messung“).
2. Sie sehen Blasen in den Kerzen.	Befüllvorgang wiederholen. Falls ohne Wirkung: undichte Stelle suchen (z.B. O-Ring der Kerze) und beheben.
3. Der Tensionswert erreicht nur etwa 500 … 700 hPa und fällt dann ab.	a) Kerze nicht blasenfrei befüllt (Abhilfe siehe oben). b) Kerze dichtet am O-Ring in der Sensoreinheit nicht richtig ab. Überprüfen und wenn nötig, O-Ring erneuern (siehe Kapitel „Wartung“).
4. Der untere Tensionswert bleibt auf etwa 200 …700 hPa und fällt dann ab.	Mögliche Ursachen: a) Die Bodenprobe hat zwischen beiden Kerzen einen horizontal verlaufenden Riss, der zunächst mit Wasser gefüllt war und später mit Luft gefüllt als Kapillarsperre wirkt. b) Defekt siehe Punkt 3
5. Der Tensionswert geht über das Vakuum hinaus (1000 hPa).	Dies ist kein Fehler, sondern der physikalische Effekt des Siedeverzugs. Dadurch können Sie mit dem HYPROP über den „normalen“ Messbereich hinaus messen.
6. Es werden keine Messdaten mehr aufgezeichnet.	a) Anschlussleitung zur USB-Buchse des Rechners prüfen. b) Energiemanagement des Rechners auf Dauerbetrieb umstellen (berifft meistens Laptops).
7. Zu Beginn „überholt“ die untere Kerze die obere.	Möglicherweise sind die Kerzen vertauscht eingeschraubt. Sie müssen die Messung nicht abbrechen, sondern können die Messwerte in der HYPROP-FIT Software korrigieren.
8. Beim Modus "One balance for more HYPROPs" werden keine Sensoreinheiten gefunden.	Sensoreinheiten nacheinander abstecken und den Gerätebaum anzeigen lassen. Möglicherweise haben ein oder mehrere Sensoreinheiten dieselbe Adresse. Dann bitte Adresse(n) ändern (siehe Kapitel „Vorbereiten einer Messung“).
9. Sie sehen Anzeigewerte von 4000 hPa	Drucksensoren sind defekt. Die Sensoreinheit muss überprüft werden. Bitte senden Sie diese an Ihren Händler oder an uns. Die Reparatur erfolgt schnell und günstig.

Reinigung und Wartung

Sensoreinheit reinigen

Die Sensoreinheit erfüllt die Schutzklasse IP65 und kann daher unter fließendem Wasser gereinigt werden.

Kerzen **nicht** abschrauben.

Deckel der Steckerbuchse schließen.

Sensoreinheit kopfüber unter fließendem Wasser gründlich säubern.

Mit Tuch trocknen.

Erst wenn die Sensoreinheit sauber ist schrauben Sie die Kerzen ca. 5 Umdrehungen heraus und spritzen die Schäfte nochmals ab.

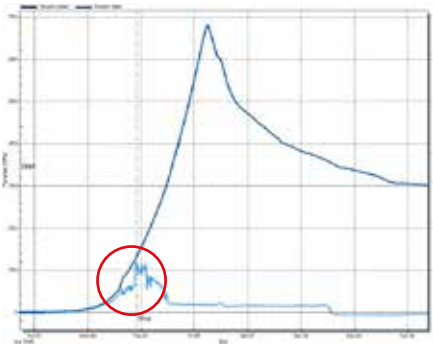
Nach dem Abschrauben der Kerzen die Sensoreinheit immer noch kopfüber halten und mit der Wasserflasche Restbodenteilchen abspülen.

Hinweis

Das Reinigen der Sensoreinheit mit der Wasserflasche soll immer kopfüber erfolgen und auch das Abschrauben der Kerzen, damit keine Bodenteilchen eindringen.

O-Ringe in der Sensoreinheit austauschen

Wenn beim Anstieg der Tensionen die Werte einer Kerze deutlich vor Erreichen des Vakuums (d.h. vor Erreichen einer Tension von ca. 800 hPa) abflacht oder gar abfällt, ist dies ein Hinweis auf Undichtigkeiten. In dem Fall sind die roten O-Ringe der Sensoreinheit auszuwechseln.



O-Ring mit einer spitzen Pinzette aufspießen und herausnehmen.

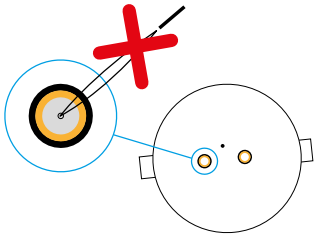
Ersatz O-Ring aus dem Servicekoffer entnehmen. Ersatz O-Ring **nicht** aufspießen.

O-Ring in die Öffnung einbringen und die Nut am Boden einrasten lassen.

Wenn der O-Ring nicht von selbst einrastet, Kerze behutsam eindrehen.

Hinweis:

Nicht in die kleine Bohrung des Drucksensors stechen. Er kann dadurch zerstört werden.



Lagerung

Wird das HYPROP über einen längeren Zeitraum nicht verwendet, muss einer Algenbildung vorgebeugt werden.

Sensoreinheit und Kerzen entleeren.

Sensoreinheit vor Staub schützen.

Sensoreinheit und Kerzen trocken lagern.

Weiteres Zubehör

Produkt/Dienstleitung		Details
HYPROP® Erweiterungsset Best.-Nr.: 020203		bestehend aus Messkopf, inkl. Kerzen und Anschlußkabel-Set
HYPROP® BALANCE Best.-Nr.: 020204		USB und HYPROP® Anschluss, Wägebereich 2200 g, Auflösung 0,1 g, Ablesbarkeit (d) 0,01 g, Reproduzierbarkeit 0,01 g, Linearität 0,01 g
HYPROP® Refill-Unit 230 VAC Best.-Nr.: 020257 110 VAC Best.-Nr.: 020258		komplett für ein HYPROP®, bestehend aus: Labor-Vakuumpumpe (Vakuum 8 mbar), HYPROP® vacuum-mount, HYPROP® beaker-mount
HYPROP® Beaker Mount Best.-Nr.: 020262		Edelstahlständer, Becher, 4 Befülladpater für HYPROP®
HYPROP® Vacuum Mount Best.-Nr.: 020268		-
HYPROP® Vakuum-pumpe zum Entgasen von HYPROP® Einheiten 230 VAC Best.-Nr.: 020259 110 VAC Best.-Nr.: 020260		Endvakuum 8 mbar, 20 l/min. für Laboranwendungen
HYPROP® Kerze 50 mm Best.-Nr.: 020277 25 mm Best.-Nr.: 020281		inkl. Schaft & O-Ringe
HYPROP® Sat Best.-Nr.: 020253		HYPROP® Aufsättigungsschale
HYPROP® Training Best.-Nr.: 020254		Inkl. Schulungsunterlagen, Schulungsdauer ca. 4h
HYPROP® Adapter für 2" Stechzylinder Best.-Nr.: 020271		
HYPROP® Silkon-Dichtscheibe Best.-Nr.: 020267		

Produkt/Dienstleitung	Abbildung	
HYPROP® Befülladapter Best.-Nr.: 020263		für HYPROP® Messkopf mit Befüllhahn
KSAT® Automatisiertes Mess-System zur Bestimmung der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit an Stechzylindern Best.-Nr.: 0201		Inkl. KSAT® VIEW-Software, 5-Liter Vorratsgefäß, 1,2 m Zuleitungsschlauch, 1,2 m Ableitungsschlauch, 2 Ersatzdichtungen für Kronen, Wanne für Bodenaufsättigung, Edelstahlplatte zur Prüfung des Druckaufnehmers, USB-Anschluss, 1 Stechzylinder SZ250
UMS Stechzylinder SZ250 für HYPROP®, KSAT® oder BaPS 250 Best.-Nr.: 100101		Volumen 250 ml, Ø außen 84 mm, innen 80 mm, Höhe 50 mm Edelstahl, reibungsarme polierte Oberflächen für minimale Probenverdichtung, laserbeschriftete 6-stellige fortlaufende ID-Nummer und Taragewicht auf 0,1 Gramm genau. Inkl. 2 PE-Schutzkappen,
UMS Schlagadapter SZA250 Best.-Nr.: 100201		für Stechzylinder 250 ml (mit Ø außen 84 mm) Edelstahl, Länge 300 mm, mit Schlagschutzgriff
UMS Stechzylinder SZ100 Best.-Nr.: 100102 SZ100-2" Best.-Nr.: 100103		Volumen 100 ml, Ø außen 60 mm, innen 56 mm, Höhe 40,5 mm Edelstahl, reibungsarme polierte Oberflächen für minimale Probenverdichtung, laserbeschriftete 6-stellige fortlaufende ID-Nummer und Taragewicht auf 0,1 Gramm genau, inkl. 2 PE-Schutzkappen Wie SZ100, außer Ø außen 53 mm, innen 50 mm, Höhe 51 mm
UMS Schlagadapter SZA 100 Best.-Nr.: 100202 SZA 100-2" Best.-Nr.: 100203		für Stechzylinder 100 ml (mit Ø außen 60 mm), Edelstahl, Länge 300 mm, Gewicht 0,6 kg, mit Schlagschutzgriff, für Stechzylinder DIN 19672 Form Q Wie SZA100 außer Ø außen 53 mm
PE-Hammer Best.-Nr.: EJ040505		rückschlagfrei, Ø 70 mm, 2.0 kg
HYPROP® Kerzen Best.-Nr.: 020255		inkl. Schaft & O-Ringe Satz mit je 1 x Länge 25 und 50 mm

Theoretische Grundlagen

Vorbemerkung

Das HYPROP (**HY**draulic **PROP**erty analyser), ist ein Gerät zur komfortablen und zuverlässigen Messung hydraulischer Kennfunktionen von Bodenproben durch ein Verdunstungsexperiment.

Wind (1966) hat das Verdunstungsverfahren Mitte der 60iger Jahre entwickelt. Dabei wurden in eine Stechzylinderprobe 5 Tensiometer eingebaut, die Probe auf eine Waage gestellt und während des Verdunstungsprozesses die Saugspannungen und die Masseänderung der Probe in Zeitintervallen gemessen. Mit Hilfe eines Iterationsprozesses wurden daraus die Wasserretentionsfunktion und die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit im Bereich zwischen Sättigung und maximal 500 hPa berechnet. Schindler (1980) hat dieses Verfahren vereinfacht. Er nutzte nur noch zwei Tensiometer und vereinfachte die Auswerteprozedur. Dieses Verfahren ist Grundlage des HYPROP. Das Verfahren wurde mehrfach geprüft und seine Eignung durch wissenschaftliche Analysen nachgewiesen (Wendroth et al., 1993; Peters und Durner, 2008; Peters et al., 2015). Neue Forschungsergebnisse führten dazu, dass die Messprozedur weiter vereinfacht (Schindler und Müller, 2006) und der Messbereich erweitert werden konnte (Schindler et al., 2010a und Schindler et al., 2010b). Mit HYPROP kann heute die Wasserretentionskurve und die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeitsfunktion simultan im Bereich zwischen Wassersättigung und nahe dem permanenten Welkepunkt gemessen werden. Die Messzeit beträgt je nach Boden zwischen 2 (Tonproben) und maximal 10 Tagen (Torf und Sandproben). Zusätzlich wird die Trockenrohdichte der Probe bestimmt. Die Messwerterfassung und -auswertung erfolgt automatisch in zwei Modi. Im **Mehrwaagen-Modus** benötigt jede Probe ihre eigene Waage. Der Arbeitsaufwand des Laborpersonals beschränkt sich dabei auf das Ansetzen und das Abnehmen der Probe. Im **Einzelwaagen-Modus** können bis zu 20 Proben parallel gemessen werden. Das erfordert jedoch, dass die Probe etwa 2 Mal pro Tag auf die Waage gestellt wird. Der Zeitaufwand je Wägung und Probe beträgt etwa 15 Sekunden. Die Saugspannungsmessung erfolgt automatisch. Eine komfortable Datenerfassungs- (HYPROP-VIEW) und Datenauswertungssoftware (HYPROP-FIT) ermöglicht die Datenerfassung und Speicherung, die Messüberwachung, die Berechnung, das Fitting und den Export der hydraulischen Kennfunktionen (UMS, 2015).
Die Hysterese des Aufsättigungs- und Entwässerungsverhaltens der hydraulischen Kennfunktionen ist in Schindler et al. (2015) beschrieben.

Messungen, die das Schrumpfungsverhalten der Bodenprobe berücksichtigen, werden in der in der Arbeit Schindler et al., 2015 beschrieben. Ein Vergleich der Messergebnisse aus HYPROP mit denen klassischer Verfahren (Sandbox, Kaolinbox, Drucktopf) für die Wasserretentionsfunktion und der Multi-Step-Outflowmethode für die ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit erbrachte eine gute Übereinstimmung (Schelle et al., 2010, 2011, 2013a,b; Schindler et al., 2012). Systematische Unterschiede konnten nicht gefunden werden.

Messverfahren

HYPROP® ermittelt für eine Bodenprobe die Wasserspannungs-Wassergehalts-Beziehung („Retentionskurve", „pF-WG-Kurve") und die Abhängigkeit der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit von der Wasserspannung bzw. dem Wassergehalt („Ku-Kurve"). Grundlage dafür ist das Verdunstungsverfahren nach Wind (1968) in der Ausführung nach Schindler (1980). In diesem Verfahren werden in einer Stechzylinderbodenprobe Tensiometer in zwei Tiefen so eingebaut, dass die Mitte zwischen den Tensiometern exakt der Säulenmitte entspricht. Die Probe wird mit Wasser gesättigt, basal verschlossen und auf eine Waage gestellt. Die Bodenoberfläche ist gegenüber der Atmosphäre offen, das Bodenwasser kann frei verdunsten. HYPROP® erfasst während eines Verdunstungsvorgangs durch zwei vertikale T5-ähnliche Tensiometer den zeitlichen Verlauf der Wasserspannungen in zwei Ebenen der Bodenprobe und über Wägung den zeitlichen Verlauf der Massenveränderung der Bodenprobe. Aus dem Mittelwert der beiden Tensionen wird ein mittlerer pF-Wert der Bodenprobe abgeleitet, aus der Masse unter Abzug aller Tara-Gewichte ein mittlerer Wassergehalt. Daraus ergibt sich zu jedem Messzeitpunkt einen Wert für die pF-WG-Kurve. Aus den Massedifferenzen ergibt sich die Verdunstungsrate, daraus wird der Volumenstrom von Wasser zu jeder Zeit berechnet. Die Werte der hydraulischen Leitfähigkeit bei zunehmender Austrocknung ergeben sich dann daraus, wie gut der Boden dieses Wasser nach oben zum Verdunsten leiten kann. Bei schlechter Leitfähigkeit trocknet der Boden oben aus, während er unten noch nass ist. Die obere Kerze zeigt also viel „trockener" an als die untere Kerze, die noch „nass" ist. Bei guter Leitfähigkeit wird Wasser aus der gesamten Probe verdunstet, und beide Kerzen zeigen fast die gleichen Werte an. Die detaillierten Berechnungsgrundlagen des Verfahrens sowie die Prüfung der Richtigkeit des Verfahrens sind in Peters und Durner (2008) und Peters et al. (2015) dargelegt.

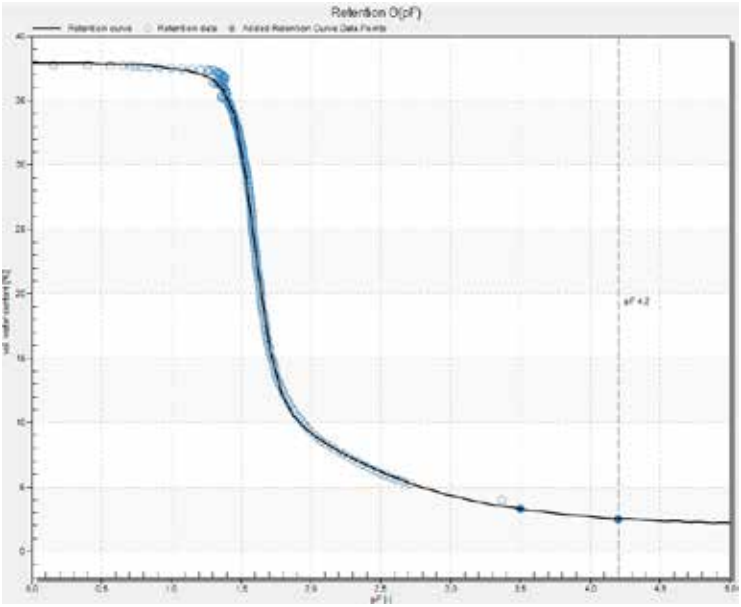
Erläuterung von Begriffen

Die Begriffe Tension, Matrixpotential, Saugspannung, Wasserspannungswert und pF-Wert beziehen sich auf dieselbe physikalische Größe: sie beschreiben die Bindungsenergie, mit der Wassermoleküle kapillar in Poren oder adhäsiv an Bodenteilchen gebunden sind. Pflanzen, beispielsweise, müssen diese Bindungsenergie oder auch Haltekraft überwinden, um das Wasser aus der Bodenmatrix aufsaugen zu können. Das Wasser steht im Boden unter Spannung (lateinisch: tension = Spannung). Direkt messbar ist diese Haltekraft oder Spannung als Unterdruck des Wassers im Vergleich zum atmosphärischen Luftdruck. Für die Messung „bietet" man dem Boden Wasser in der Kerze an, das der Boden mit der gleichen Kraft ansaugt, wie er das Wasser festhält. Der Boden steht über die wassergefüllten Poren der Keramik in kapillarem Kontakt zum Kerzenwasser, die Drücke im Bodenwasser und im Wasser in der Kerze gleichen sich an.

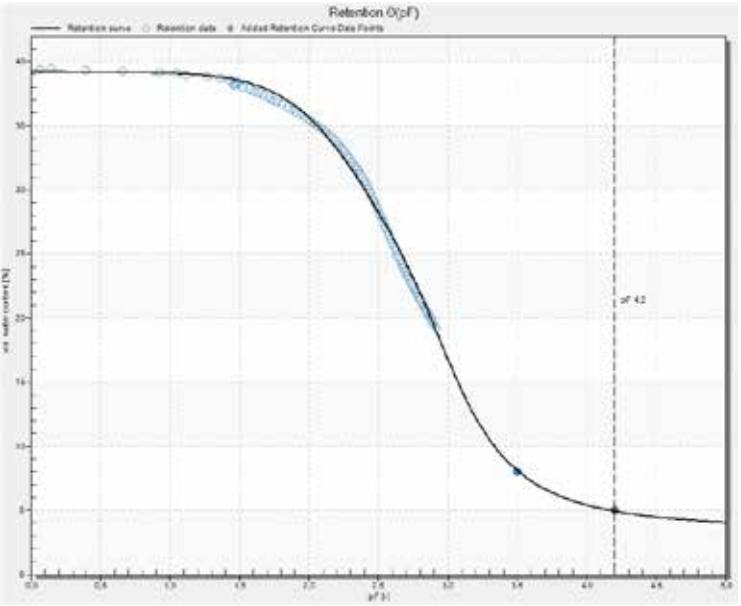
Da das Kerzenwasser luftdicht eingeschlossen ist, kann es so lange nicht in den Boden fließen, bis der Boden so trocken bzw. der Unterdruck so stark ist, dass der erste Porengang der Kerze leergesaugt ist. Der Unterdruck (Tension, Saugspannung) in der Kerze wiederum ist als Kraft mit einem Druckaufnehmer messbar. Wenn der Unterdruck so stark wird, dass er die kleinen Poren der Kerze leersaugt, dann ist der Lufteintrittspunkt erreicht: Luft dringt in die Kerze ein, der Druck in der Kerze steigt auf den atmosphärischen Luftdruck, der angezeigte Messwert fällt auf Null.

Das Matrixpotential ist der negative Wert der Tension und wird oft als Druck in hPa oder kPa angeben. In der Bodenkunde wird auch oft die Angabe als Druckhöhe (pressure head) z.B. in der Einheit "cm Wassersäule" verwendet. Der pF-Wert ist der dekadische Logarithmus der Druckhöhe einer Wassersäule in cm. Eine Bodenwasserspannung von -100 hPa entspricht dem Betrag nach dem Druck einer etwa* 100 cm hohen Wassersäule. Der pF-Wert ist somit 2,0.
Die Begriffe Retentionsfunktion, pF-Kurve und pF-WG-Zusammenhang bezeichnen dasselbe. Sie beschreiben den bodentypischen Zusammenhang zwischen Bindungsenergie (pF-Wert, Wasserspannung) und volumetrischem Wassergehalt (WG). Beispiel: Sand kann wenig Wasser halten, Ton sehr viel. Sand leitet Wasser bei oder nahe Sättigung sehr gut, Ton dagegen schlecht. Trockener Sand leitet Wasser sehr schlecht, Ton im Vergleich etwas besser (wasserführende Schichten). Siehe hierzu die folgenden Retentionskurven zum Vergleich.

* wegen g = 9,81 m/s²



Typische Retentionskurve von Sand



Typische Retentionskurve von Lehm

Erzeugung diskreter Datenpunkte für Retentions- und Leitfähigkeitsbeziehung

HYPROP misst zu Zeitpunkten t_i, die in der Konfiguration von HYPROP-VIEW definiert werden, in zwei Messebenen in der Probe die Wasserspannungen (Tensionen) h_1 und h_2 (in hPa). Im Mehrwaagen-Modus wird zeitgleich die Gesamtmasse der Probe in g gemessen. Im Einzelwaagen-Modus erfolgt die Erfassung der Probenmasse durch manuelle Wägung, in der Regel zweimal täglich. Aus der Probenmasse abzüglich aller Tara-Komponenten (Sensoreinheit, Stechzylinder, Bodentrockenmasse) wird der jeweilige mittlere Wassergehalt der Probe ermittelt. Die Bodentrockenmasse kann erst nach der Messung separat durch Trocknung bei 105° im Trockenschrank bestimmt werden.

Die Messdaten werden mit der Software HYPROP-FIT nach dem Verfahren nach Schindler (1980) ausgewertet. Die exakte Wassergehaltberechnung erfordert die Eingabe der Bodentrockenmasse in die Software. Solange die Eingabe nicht vorliegt, wird der Wassergehalt in HYPROP-FIT vorab abgeschätzt. HYPROP-FIT berechnet – ausgehend von Linearisierungsannahmen – diskrete Punkte der Retentionskurve und der Leitfähigkeitskurve. Im ersten Schritt werden hierzu die Rohdaten durch hermitesche Splines interpoliert. Dies hat den Vorteil, dass unterschiedliche Messzeiten für Tensionen und Wassergehalte einander angeglichen werden und die Anzahl der Zeitpunkte, für die Daten berechnet werden, a priori festgelegt wird. Voreinstellung in HYPROP-FIT ist eine Berechnung zu 100 Zeitpunkten, die aus den Splines abgegriffen werden.

Zu jedem Berechnungszeitpunkt wird aus der Masse Bodenwasser dividiert durch das Volumen des Bodenkörpers ein mittlerer Wassergehalt θ_i errechnet und einer Tension zugeordnet, die sich aus der Mittelung der beiden gemessenen Tensionen h_1 und h_2 errechnet. Dies ergibt am Ende 100 Punkte der Retentionskurve $\theta_i(h_i)$. Zur Berechnung der Leitfähigkeitsfunktion wird angenommen, dass der Wasserfluss zwischen zwei Zeitpunkten t_{i-1} und t_i durch eine Ebene, welche sich genau zwischen den beiden Kerzen (und damit in der Säulenmitte) befindet, gleich $q_i = {}^1/_2 \, (\Delta V_i/\Delta t_i)/A$ ist. Hier ist ΔV_i der über die Gewichtsänderung ermittelte Wasserverlust in cm^3, Δt_i das Zeitintervall zwischen zwei Berechnungszeitpunkten, und A die Querschnittsfläche (in cm^2) der Säule. Die Datenpunkte für die hydraulische Leitfähigkeitsfunktion werden durch Invertierung der Darcy-Gleichung ermittelt:

$K_i(h_i) = -q_i / \{(\Delta h_i/\Delta z)-1\}$. Hierbei ist h_i die räumlich und zeitlich gemittelte Tension, Δh_i die Differenz der Tensionen der beiden Messebenen, und Δz der Abstand der Messebenen (d.h. die Höhendifferenz der Kerzen).

Durch HYPROP-FIT werden unzuverlässige $K(h)$ Datenpaare nahe Sättigung in Abhängigkeit von der Messgenauigkeit der Kerzen herausgefiltert (Peters und Durner, 2008). An die erhaltenen Messpunkte $\theta_i(h_i)$ und $K_i(h_i)$ werden im Anschluss durch nichtlineare Optimierung parametrische Funktionen $\theta(h)$ und $K(h)$ angepasst. Der Funktionstyp kann vom Benutzer gewählt werden, es finden sich darunter alle gängigen Modelle (van Genuchten, 1980; Brooks and Corey, 1964; Kosugi, 1996; Fredlung-Xing, 1994) in uni- und bimodaler Form sowie in einer fortgeschrittenen Formulierung als Peters-Durner-Iden (PDI) Variante (Peters, 2013; Iden und Durner, 2014). Eine vollständige Darstellung des Auswerteverfahrens sowie der Modelle und der Kurvenanpassung findet sich im HYPROP-FIT Benutzerhandbuch (http://www.ums-muc.de/static/Manual_HYPROP.pdf) sowie in Peters et al., (2015).

Parameteroptimierung

Die θ(h)- K(h)-Funktionen werden simultan an die Datenpunkte angepasst. Dies ist notwendig, da einzelne Parameter (bei van Genuchten/Mualem z.B. α und n) die Form beider Funktionen beeinflussen. Die Anpassung erfolgt unter Verwendung eines globalen Optimierers durch nichtlineare Regression unter Minimierung der Summe aller gewichteten Abstandsquadrate zwischen Datenpunkten und Modelvorhersage. Da die Annahme, dass der Wassergehalt linear über die Säulenhöhe verteilt ist, bei grobporigen oder strukturierten Böden nicht immer erfüllt ist, wird bei der Anpassung der Retentionsfunktion der sogenannte „integrale Fit" angewendet, um einen systematischen Fehler zu vermeiden (Peters und Durner, 2006). Einzelheiten der Fittingprozedur und der Datenwichtung finden sich bei Peters und Durner (2007, 2008) und Peters et al., (2015).

Zusätzliche Hinweise

Einflüsse auf den Messbereich

Bei den Kerzen wird der Messbereich durch drei Faktoren begrenzt, oder erweitert:

- Lufteintrittspunkt
- Dampfdruck von Wasser (Siedepunkt)
- Siedeverzug

Der Lufteintrittsdruck(punkt) der porösen Kerze.

Dieser Wert ist spezifisch für eine poröse, hydrophile Struktur und abhängig von Benetzungswinkel und Porengröße. Bei UMS Kerzen liegt der Lufteintrittspunkt bei 8,8 bar, so dass er für den Messbereich nicht limitierend wirkt.

Der Dampfdruck von Wasser:

Bei einer Temperatur von 20° C beträgt der Dampfdruck 23 hPa über Vakuum. Das bedeutet: Ist bei 20° C der Luftdruck 1000 hPa, dann beginnt das Wasser bei Drücken <23 hPa (oder 977 hPa Differenzdruck) zu sieden und zu verdampfen. An diesem Punkt endet der Messbereich der Kerzen. Die Grenze des Messbereichs bei 1000 hPa Luftdruck und 20° C liegt also bei -977 hPa. Dabei ist zu beachten, dass Luftdruckangaben für Orte immer auf NN bezogen werden, die realen Luftdrücke aber um so niedriger sind, je höher der Ort liegt. Beispiel: Bei einer Ortshöhe von 500 Meter über NN bedeuten 1000 hPa Luftdruck laut Wetterdienst nur einen tatsächlichen Druck von 942 hPa. Der Messbereich der Kerzen ist dann in dieser Höhe und bei einer Temperatur von 20° C auf (23-942) hPa = -919 hPa begrenzt. Trocknet der Boden stärker aus, dann verweilt die angezeigte Tension bei 919 hPa. Erst bei Erreichen des Lufteintrittspunktes erfolgt ein spontaner Druckausgleich mit der Atmosphäre. Dann dringt Luft in die Kerze ein und der Wert geht rapide auf 0.

Osmotischer Effekt

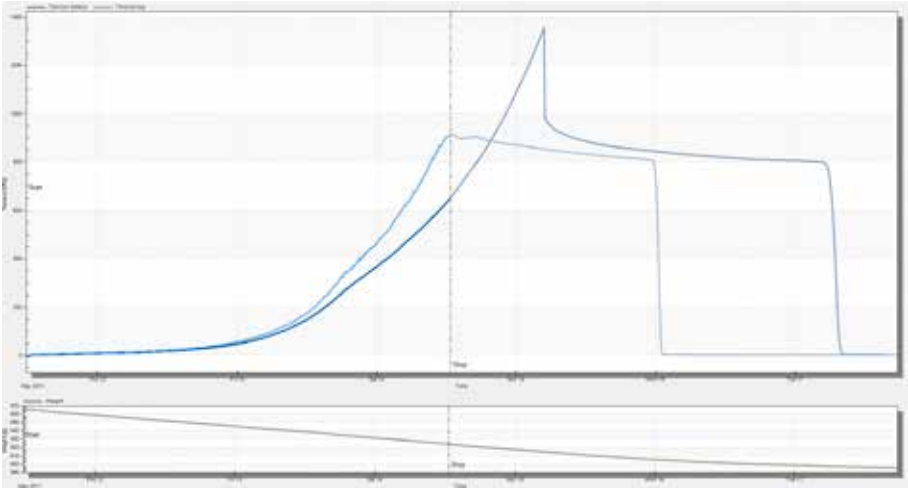
Die Keramik mit einer Porenweite (r=0,3 µm) kann Ionen nicht sperren. Eine Beeinflussung des Messwertes durch osmotischen Effekt ist daher vernachlässigbar. Hält man die Kerze in eine gesättigte NaCl-Lösung, so zeigt es kurzzeitig 10 hPa an und geht dann wieder auf 0 hPa zurück.

Anhang

Typische Messkurven

Folgende typische Messkurven wurden freundlicherweise von Prof. Dr. Wolfgang Durner zur Verfügung gestellt.

Sandiger Lehm (Ls2)



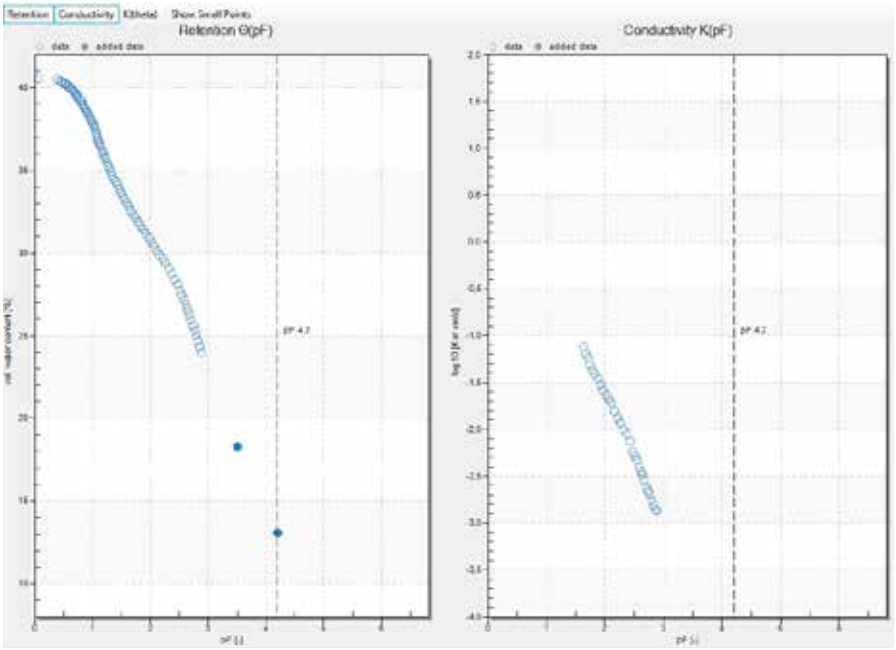
Probenstandort: Wolfenbüttel; Bodenart Schwach sandiger Lehm. Ls3 (S 35%, U 48%, T 17%) ; Messungen im Winter 2011 im Rahmen der "Geoökologischen Labormethoden 2011", TU Braunschweig. Potentielle Verdunstung: 2,75 mm/d. Temperatur: 21°C

Beschreibung des Messverlaufs

- Der Messverlauf ist typisch für einen Lehm mit weiter Porengrößenverteilung.
- Die Tensionen steigen knapp zwei Tage lang kontinuierlich, aber mit moderater Steigung an. Dies reflektiert einen Grobporenanteil im Lehm von knapp 10%.
- Ab ca. 50 hPa (pF 1,7) sind die zunächst parallel laufenden Kerzen weit genug entfernt, um die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeiten zu erlauben.
- Nach knapp zwei Tagen steigen die Kerzen nun mit größerer Steigung, aber immer noch schwacher Krümmung weiter an. Die Messgrenze wird bereits einen Tag später erreicht. Dies weist einen limitierten und gleichzeitig breit gefächerten Mittelporenanteil aus.

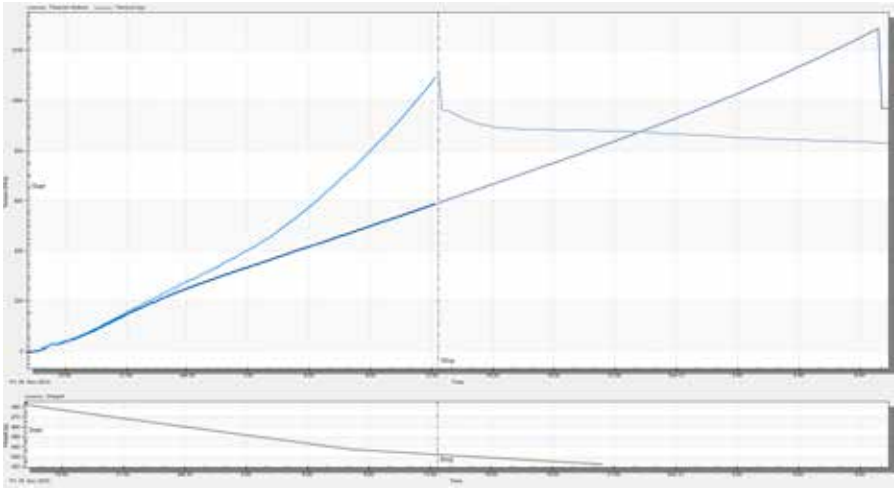
- Die Spreizung der Kerzenwerte ist dabei moderat, was auf eine relativ hohe hydraulische Leitfähigkeit in diesem Bereich hinweist.
- Die Messung wird beendet durch den (hier etwas verfrühten)Ausfall der oberen Kerze bereits nach drei Tagen. Zu dem Zeitpunkt sind der Probe ca. 17% Wasser entzogen.

Auswertung



- Der relativ gleichmäßige Abfall der Wassergehalte bei zunehmendem pF und der relativ flache Abfall der K-Daten ist charakteristisch für Lehme mit einer weiten Porengrößenverteilung.
- Die Hinzunahme des Datenpunktes über den Lufteintrittspunkt der keramischen Kerzen (PowerUser only) passt sehr gut zu den unabhängigen, mit dem WP4 gemessenen Datenpunkten, und erweitert den Messbereich beträchtlich.
- Als Modell zur Beschreibung der Daten wird eine bimodale Funktion benötigt.

Toniger Schluff (Ut3)



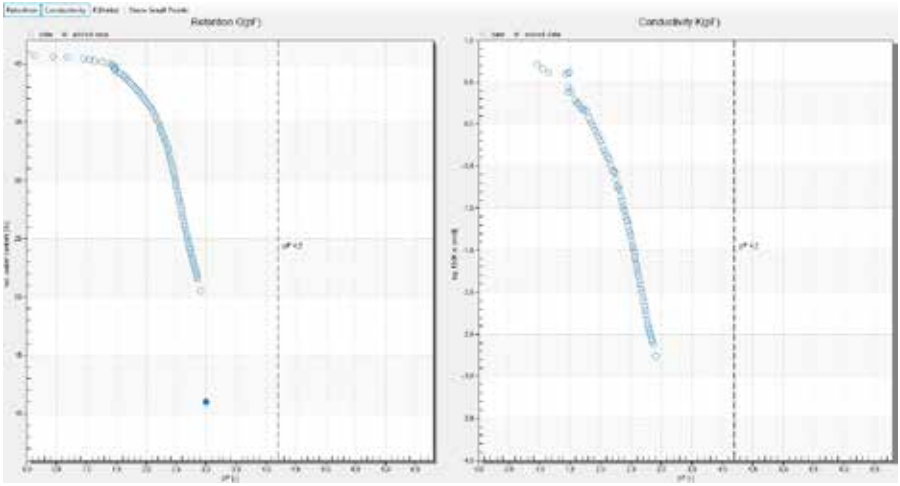
Probenstandort: Groß-Gleidingen bei Braunschweig; Bodenart: Toniger Schluff (S: 1%, U: 82%, T: 17%); Messungen: Praktikum Bodenphysik an der TU Braunschweig im Jahr 2010 (Gruppe 3). Potentielle Verdunstung: 14 mm/d unter Verwendung eines Ventiators. Temperatur: 20°C

Beschreibung des Messverlaufs

- Der Messverlauf ist typisch für einen sehr feinkörniges Substrat.
- Die Tensionen steigen unmittelbar nach Messbeginn spontan, steil und kontinuierlich an. Dies reflektiert einen sehr kleinen Grobporenanteil. pF 2,0 wird (unter den gegebenen Verdunstungsbedingungen mit Ventilator) nach wenigen Stunden erreicht. Der Wasserverlust bis pF 2 beträgt lediglich ca. 4%.
- Das „Ruckeln“ am Beginn der Messungen zeigt den diskontinuierlichen Zutritt der eindringenden Luft in den Boden an.
- Ab ca. 100 hPa (pF 2,0) sind die zunächst parallel laufenden Tensiometer weit genug entfernt, um die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeiten zu erlauben.
- Beide Tensiometer steigen mit fortschreitender Zeit unvermindert an und fallen relativ bald aus. Der tonige Schluff besitzt nur wenige große Mittelporen, der feinere Mittelporenbereich ist zum Ausfallzeitpunkt noch mit Wasser gefüllt, der Wassergehalt entsprechend hoch.
- Die Spreizung der Tensiometerwerte ist über den gesamten Messverlauf moderat, was auf eine relativ hohe ungesättigte Leitfähigkeit hinweist.

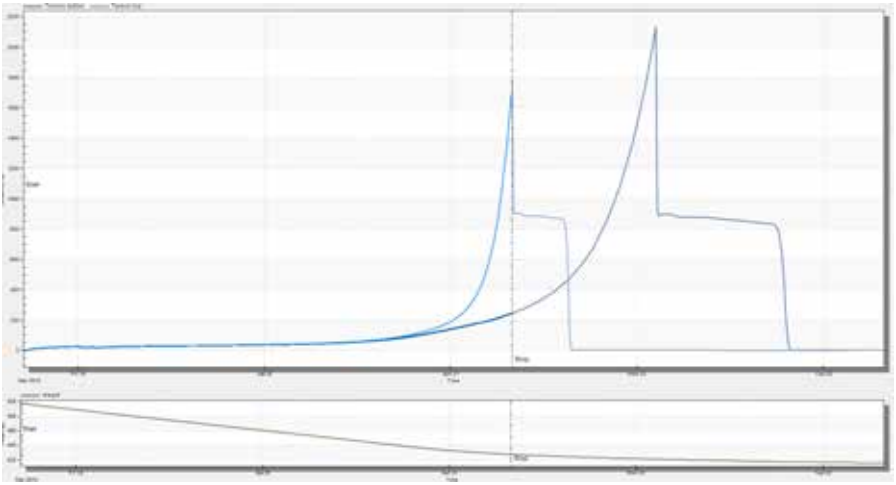
- Die Messung wird beendet durch den Ausfall des oberen Tensiometers nach weniger als einem Tag. Zu dem Zeitpunkt sind der Probe ca. 20% Wasser entzogen.

Auswertung



- Der zunächst flache und dann zunehmend steiler werdende Abfall der Wassergehalte bei zunehmendem pF ist charakteristisch für sehr feinkörnige und tonige Substrate.
- Die hydraulische Leitfähigkeit bei pF 2 ist sehr hoch, fällt dann aber steiler ab als bei Lehm.
- Die Beschreibung der Daten mit Modellen ist unproblematisch, im trockenen Bereich aber völlig unsicher. Geeignete Modelle sind z. B. das van Genuchten-Modell, oder das Kosugi-Modell.

Schwach lehmiger Sand (Sl2)

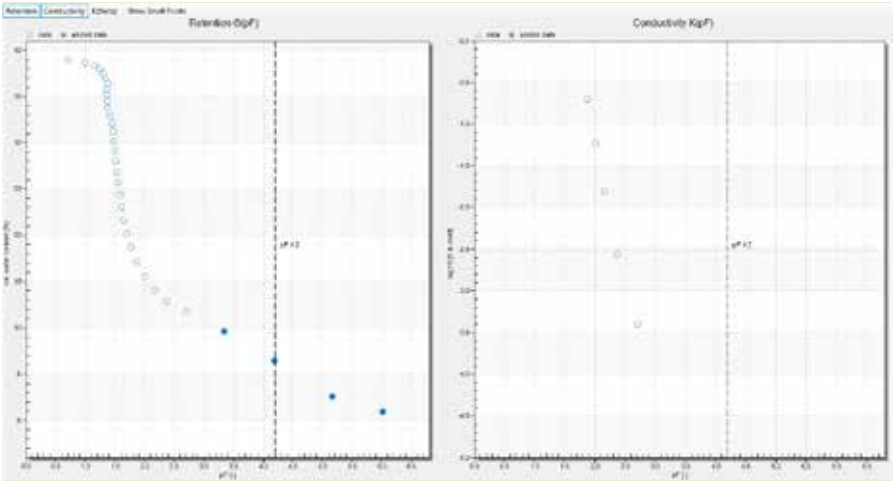


Bodenart: schwach lehmiger Sand (S: 1%, U: 82%, T: 17%) Messungen im UMS Messlabor, Potentielle Verdunstung: 5.7 mm/d Temperatur: 23°C

Beschreibung des Messverlaufs

- Der Messverlauf ist typisch für einen Sand mit geringen Feinanteilen
- Die Tensionen steigen unmittelbar nach Messbeginn spontan an, bis sie einen Level erreichen, der dem Lufteintrittspunkt entspricht. Im vorliegenden Fall sind dies etwa 30 cm (pF 1.5).
- Ein leichtes "Ruckeln" am Beginn der Messungen zeigt an, dass die Luft nicht gleichförmig, sondern ruckweise in das System eintritt. Dies wird sich in der Auswertung der Retentionskurve widerspiegeln.
- Die Tensiometer laufen über lange Zeit völlig parallel, nur um den hydrostatische Druckdifferenz von 2.5 hPa verschoben.
- Erst nach Entwässerung des Hauptporenteils steigt zunächst das obere Tensiometer exponentiell an. Der Ausfall des Tensiometers erfolgt danach sehr schnell, auch der Lufteintrittspunkt der keamischen Kerze wird kurze Zeit später erreicht, während das untere Tensiometer noch im regulären Messbereich liegt.
- Die Differenz der Tensionen wird erst nach Erreichen des exponentiellen Anstiegs so groß, dass hydraulische Leitfähigkeiten berechnet werden können.
- Die Messung wird beendet durch den Ausfall des oberen Tensiometers nach Entzug von fast 30% Wasser.

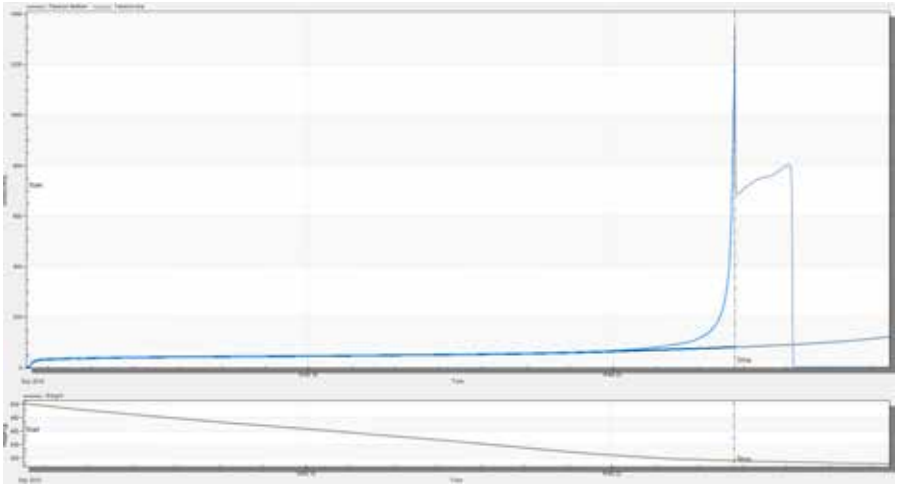
Auswertung



Die ergänzenden Daten im trockenen Bereich wurden von Lisa Heise im Rahmen ihrer Bachelorarbeit an der TU Braunschweig/UMS München mit Hilfe eines Gerätes WP4C der Fa. Decagon gemessen. Sie sind in Heises Bachelorarbeit dokumentiert (http://www.soil.tu-bs.de/mitarbeiter/dipl_detail.php? id=78).

- Der ausgeprägte Lufteintrittspunkt und der steile Abfall der Retentionskurve nach Erreichen des Lufteintrittspunktes ist charakteristisch für Sande.
- Die hydraulische Leitfähigkeit ist erst ab pF 2.0 bestimmbar, und fällt dann steil ab.
- Geeignete Modelle zur Datenbeschreibung sind das Fayer-Simmons-Modell, oder das bimodale Modell, um den weiteren Abfall der Retentionswerte zur Austrocknung hin zu beschreiben.

Reiner Fein- bis Mittelsand (Ss)

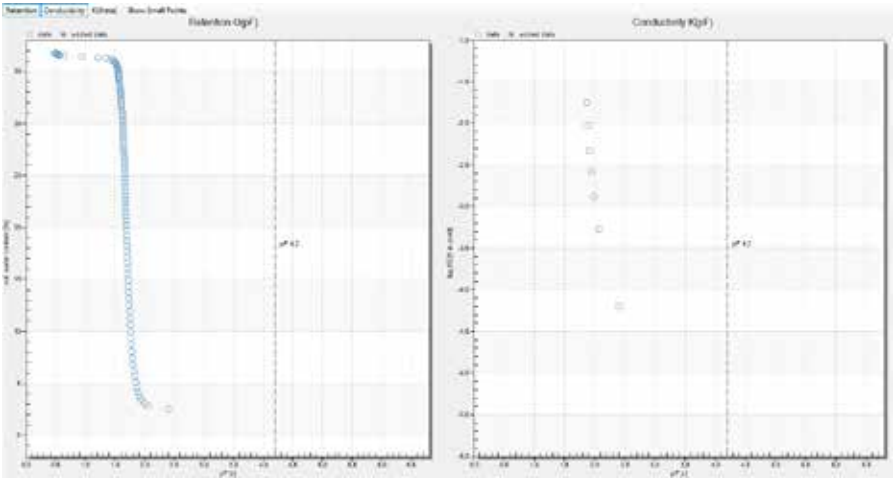


Probenmaterial: Gepackter Quarzsand der Korngröße 0.1 bis 0.3 mm Bodenart: Sandiger Sand (S: 100%, U: 0%, T: 0%) Messung: Bodenphysikalisches Labor, TU Braunschweig Potentielle Verdunstung: 1.4 mm/d Temperatur: 22°C

Beschreibung des Messverlaufs

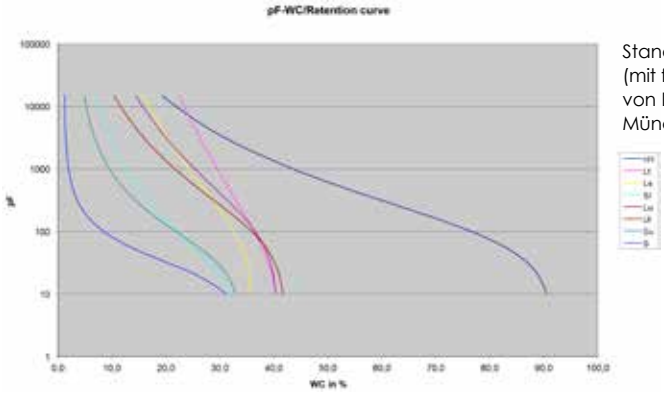
- Der Messverlauf ist typisch für einen Sand mit enger Partikelgrößenverteilung ohne Feinanteile
- Die Tensionen steigen unmittelbar nach Messbeginn spontan an, bis sie einen Level erreichen, der dem Lufteintrittspunkt entspricht. Im vorliegenden Fall sind dies etwa 50 cm (pF 1.7).
- Die Tensiometer laufen nun über lange Zeit sehr flach und völlig parallel, nur um den hydrostatische Druckdifferenz von 2.5 hPa verschoben.
- Nach Entwässerung des Hauptporenteils steigt das obere Tensiometer extrem steil an. Der Ausfall des Tensiometers erfolgt nun sehr schnell.
- Das untere Tensiometer ist zum Ende der Messung noch völlig unerfasst von der Austrocknungsfront, die Differenz der Tensionen extrem groß.
- Hydraulische Leitfähigkeiten können nur über einen kurzen Zeitabschnitt berechnet werden.
- Die Messung wird beendet durch den Ausfall des oberen Tensiometers nach Entzug von 35% Wasser.

Auswertung



- Der sehr scharf ausgeprägte Lufteintrittspunkt sowie der extrem steile Abfall der Retentionskurve nach Erreichen des Luftein-trittspunktes ist charakteristisch reine Sande mit uniformer Korngröße.
- Die hydraulische Leitfähigkeit ist nur innerhalb eines sehr engen Tensions-intervalls bestimmbar, und fällt ebenfalls extrem steil ab.
- Geeignete Modelle zur Datenbeschreibung sind das Brooks-Corey-Modell, das van Genuchten-Modell mit freiem Parameter m, oder das Fayer-Simmons-Modell.

Standard pF-Kurven



Standard pF-WG Kurven (mit freundlicher Unterstützung von Dr. Uwe Schindler, ZALF Müncheberg)

Verfahren zur Probenahme für WP4 Messungen nach einer HYPROP Messung

Aufgrund langjähriger Erfahrung mit einer Vielzahl von Messungen in unserem Bodenlabor empfehlen wir die folgende Vorgehensweise, um zu vermeiden, dass das HYPROP Messergebnis verfälscht wird.

Pro Stechzylinderprobe vier WP4-Behälter sowie die dafür vorgesehenen Deckel mit Probennummer beschriften

Drücken Sie die Bodenprobe wie einen Stempel in Schritten von 1,3 mm aus dem Stechzylinder und schneiden Sie die jeweils hervorstehenden Stücke ab. Lassen Sie die Stücke in eine Aluminiumwanne fallen.

Füllen Sie den ersten WP4-Behälter mit Probenmaterial - maximal halbvoll. Schließen Sie den Behälter sofort.

Wiederholen Sie diese Schritte für die Behälter 2, 3 und 4. Dichten Sie die Behälter mit Tesafilm ab.

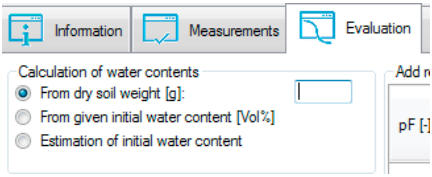
Trocknen Sie den übrigen Boden aus der Wanne in einem Trockenofen. Nehmen Sie die Bodenreste heraus und lassen Sie sie in einem Desikkator abkühlen. Wiegen Sie sie.

Die Messung gemäß WP4 Anleitung durchführen.

Wiegen Sie die feuchten Proben **sofort** nach der Messung im WP4.

Geben Sie die WP4-Proben in den Trockenofen und lassen Sie sie bei 105 °C trocknen bis der Gleichgewichtszustand erreicht ist. Nehmen Sie sie heraus und lassen Sie sie im Desikkator abkühlen. Wiegen Sie die Proben.

Addieren Sie die Trockenmasse der WP4-Proben zur Masse der Bodenreste und geben Sie diese Gesamtmasse in HYPROP-FIT im Register "Evaluation" ein.



Geben Sie die pF-Werte des WP4 ein, die feuchte Gesamtmasse, die trockene Gesamtmasse und den Tarawert. Dies erfolgt im Register "Evaluation" in der Tabelle "Add WP4 data points". Sie können diese Daten durch cut-and-paste aus einem Tabellenkalkulationsprogramm übernehmen.

Die gravimetrischen Wassergehalte werden dann automatisch berechnet, in volumetrische umgerechnet und in den Grafiken eingefügt. Beim Fit der hydraulischen Eigenschaften werden die Daten mit demselben Einfluss („weighting factor") berücksichtigt wie die HYPROP-Daten. Power User können diese Gewichtung auch erhöhen oder verringern.

Einheitenübersicht für Bodenwasser- und Matrixpotentiale

	pF	hPa	kPa=J/kg	MPa	bar	psi	%rF
	1	-10	-1	-0,001	-0,01	-0,15	99,9993
FK Feldkapazität	1,8	-62	-6,2	-0,006	-0,06	-0,89	99,998
	2	-100	-10	-0,01	-0,1	-1,45	99,9926
Standard Tensiometer Messbereich	2,9	ca. 850	-85	-0,085	-0,85	-12,3	
	3	-1.000	-100	-0,1	-1	-14,5	99,9261
	4	-10.000	-1.000	-1,0	-10	-145,0	99,2638
Permanenter Welkepunkt	4,2	-15.000	-1.500	-1,5	-15	-219,5	98,8977
	5	-100.000	-10.000	-10	-1 00	-1450,4	92,8772
Lufttrocken, luftfeuchteabhängig	6	-1.000.000	-100.000	-100	-1 000	-14504	47,7632
Ofentrocken	7	-10.000.000	-1.000.000	-1.000	-10 000	-145038	0,0618

Anmerkung: 9,81 hPa entsprechen 10 cm Wassersäule

Zahlen, Daten, Fakten

Technische Daten

Sensoreinheit	
Material	Glasfaserverstärktes Polyamid
Abmessungen	h 60 mm, Ø 80 mm
Kerzen	
Keramik	Al_2O_3-Sinter, Lufteintrittspunkt ca. 8800 hPa,
Schaftmaterial	Ø 5 mm Acrylglas, Ø 5 mm
Längen	Kleine Kerze: 31 mm, große Kerze: 56 mm
Messbereich	
Drucksensor	-3.000 … 3000 hPa (elektronisch)
Temperatur	-30 … 70 °C
Genauigkeit	
Druck	± 2,5 hPa / d = 0,05 hPa (+100 ... -500 hPa)
Temperatur	± 0,2 K (bei -10 … 30 °C) / d = 0,01 K
Versorgung	
Spannung	6 … 10 V DC
Strom	6 mA nominal, 15 mA max.
Medienverträglichkeit	
pH-Bereich	pH3 … pH10, begrenzt auf Medien, die nicht Silizium, Fluorsilikon, EPDM, PMMA und Polyetherimid angreifen
Schutzklasse	
Gehäuse mit abgedeckter Buchse	IP65 spritzwassergeschützt
Sensoreinheiten	
Anzahl der Sensoreinheiten, die mit tensioLINK unterstützt werden	20
Waage HYPROP-Balance	
Anschluss an PC	USB
Wägebereich	2200 g
Ablesbarkeit	0,01 g
Reproduzierbarkeit	0,01 g
Linearität	0,01 g
Justierung	intern

Zitierte Literatur

Hinweis:

Wenn Sie diese Bedienungsanleitung zitieren möchten, verwenden Sie bitte folgende Angaben: UMS (2015): Bedienungsanleitung HYPROP, Version 2015-01, 96 pp. UMS GmbH, Gmunder Straße 37, 81379 München.
URL http://ums-muc.de/static/Manual_HYPROP.pdf

- **Brooks, R. H. and Corey, A. T.** (1964): Hydraulic properties of porous media. Hydrology Paper 3. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- **Fredlund, D. G., & Xing, A.** (1994): Equations for the soil-water characteristic curve. Canadian geotechnical journal, 31(4), 521-532.
- **Iden, S.C., and W. Durner** (2014): Comment to "Simple consistent models for water retention and hydraulic conductivity in the complete moisture range" by A. Peters., Water Resour. Res., 50, 7530–7534.
- **Kosugi, K. I.** (1996): Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties. Water Resources Research, 32(9), 2697-2703.
- **Peters, A. and Durner, W.** (2006): Improved estimation of soil water retention characteristics from hydrostatic column experiments. Water Resources Research 42 (11).
- **Peters, A. and Durner, W.** (2008): Simplified Evaporation Method for Determining Soil Hydraulic Properties. Journal of Hydrology 356 (1-2): 147– 162.
- **Peters, A. and Durner, W.** (2007): Optimierung eines einfachen Verdunstungsverfahrens zur Bestimmung bodenhydraulischer Eigenschaften. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 110 (1): 125-126.
- **Peters, A.** (2013): Simple consistent models for water retention and hydraulic conductivity in the complete moisture range, Water Resour..Res., 49, 6765–6780.
- **Peters, A., S.C. Iden, and W. Durner** (2015): Revisiting the simplified evaporation method: Identification of hydraulic functions considering vapor, film and corner flow. Journal of Hydrology, in press.

- **Schelle, H., Iden, S. C., Peters, A. and Durner, W.** (2010): Analysis of the agreement of soil hydraulic properties obtained from multistep-outflow and evaporation methods. Vadose Zone Journal 9 (4): 1080-1091.
- **Schelle, H., Iden, S. C. and Durner, W.** (2011): Combined transient method for determining soil hydraulic properties in a wide pressure head range. Soil Science Society of America Journal 75 (5): 1-13.
- **Schelle, H., Heise, L., Jänicke, K. and Durner, W.** (2013a): Wasserretentionseigenschaften von Böden über den gesamten Feuchtebereich - ein Methodenvergleich. - In: Beiträge zur 15. Lysimetertagung am 16. and 17. April 2013, HBFLA Raumberg-Gumpenstein.
- **Schelle, H., Heise, L., Jänicke, K. and Durner, W.** (2013b): Water retention characteristics of soils over the whole moisture range: a comparison of laboratory methods. European Journal of Soil Science 64 (6): 814-821.
- **Schindler, U.** (1980): Ein Schnellverfahren zur Messung der Wasserleitfähigkeit im teilgesättigten Boden an Stechzylinderproben. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 24 (1): 1-7.
- **Schindler, U. and Müller, L.** (2006): Simplifying the evaporation method for quantifying soil hydraulic properties. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169 (5): 623-629.
- **Schindler, U., Durner, W., von Unold, G. and Müller, L.** (2010a): Evaporation method for measuring unsaturated hydraulic properties of soils: Extending the measurement range. Soil Science Society of America Journal 74 (4): 1071-1083.
- **Schindler, U., Durner, W., von Unold, G., Müller, L. and Wieland, R.** (2010b): The evaporation method: Extending the measurement range of soil hydraulic properties using the air□ entry pressure of the ceramic cup. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173 (4): 563-572.
- **Schindler, U., Doerner, J. and Müller, L.** (2015): Simplified method for quantifying the hydraulic properties of shrinking soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 178 (1): 136–145.
- **UMS** (2015): HYPROP-Fit User Manual. UMS GmbH, Gmunder Str. 37, 81379 München, Germany, 2015. URL http://www.ums.muc.de/static/Manual_HYPROP-FIT.pdf.

- **Van Genuchten, M. T.** (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44: 892-898.
- **Wind, G.P.** (1968): Capillary conductivity data estimated by a simple method. p.181–191. In R.E. Rijtema and H. Wassink (ed.) Water in the Unsaturated Zone: Proc. UNESCO/IASH Symp., Wageningen, the Netherlands.

Notizen

© 2015 UMS GmbH, München, www.ums-muc.de
Print #: HYPROP vers2015_01
Änderung, die dem technischen Fortschritt dienen, sind jederzeit möglich.
HYPROP®, HYPROP-VIEW® und HYPROP-FIT® sind eingetragene Warenzeichen der UMS GmbH, München.
Gedruckt auf Papier aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

UMS GmbH
Gmunder Str. 37
81379 München

Tel. +49 (0) 89 / 12 66 52 - 0
Fax +49 (0) 89 / 12 66 52 - 20

ums@ums-muc.de
www.ums-muc.de